



# KONEOHJAUKSEN KÄYTTÖ JA HAASTEET TYÖMAALLA JA SUUNNITTELUSSA

Timo Uusi-Kouvo

Opinnäytetyö  
Maaliskuu 2018  
Rakennus ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

Uusi-Kouvo Timo  
Koneohjauksen käyttö ja haasteet työmaalla ja suunnittelussa

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Maaliskuu 2018

---

Satelliittipaikannukseen perustuva 3D-koneohjaus on jo tuttu näky niin pienillä kuin isoilakin maanrakennustyömailla. Järjestelmän hyödyt ovat kiistattomat ja useat tilaajat vaativatkin jo uusien urakoiden tilausvaiheessa urakoitsijoita kilpailuttaessaan urakoitsijalta koneohjauksen käyttöä työmaalla. Tietomallipohjaisessa rakentamisessa koneohjaus ja erityyppiset tietomallit ovat mukana aina lähtötietojen keräämisestä urakan luovutukseen ja ylläpitoon.

Eri laitevalmistajien koneohjauslaitteet ovat käytössä useimmiten kaivinkoneissa, pusku-koneissa ja tiehöylissä. Koneohjauslaitteet, kuten kaikki muukin tekniikka ja uudet toimintatavat aiheuttavat joskus lisää työtä ja erilaisia haasteita käytettävyyden ja työmenetelmien kannalta. Tässä opinnäytetyössä kerrotaan eri laitevalmistajien koneohjausjärjestelmistä, eri tietomallityypeistä ja niiden ominaisuuksista.

Tässä opinnäyte työssä tarkastellaan koneohjausmaailman mukanaan tuomia haasteita ja ongelmia, joita on ilmennyt järjestelmien yleistyessä työmailla. Ongelmiin etsitään ja tarjotaan ratkaisuja tai uusia toimintatapoja, joilla työtä voidaan tulevaisuudessa helpottaa. Opinnäytetyö on kerätty käyttäen haastatteluja, alan verkkosivuja sekä omia, referenssityömailta kerättyjä kokemuksia ja tietoa.

Lopputuloksena voidaan todeta, että koneohjaus on mainio työkalu maanrakentamiseen, mutta se tarvitsee toimiakseen paljon tietotaitoa ja koulutusta. Tulevaisuudessa koneohjaus tulee olemaan vahvasti mukana jokaisella maanrakennustyömaalla ja sen käyttöön on totuttu. Suurin muutosvastarinta tulee tulevaisuudessa loppumaan ja laitteiden käytöstä tulee helpompaa ja tehokkaampaa.

---

Asiasanat: koneohjaus, tietomalli, maanrakentaminen, haaste, ongelma

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Civil engineering

Uusi-Kouvo Timo  
The Use and Difficulties of Machine Control in Site and Planning

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 2 pages  
March 2018

---

Satellite positioning based 3D-machine control is a familiar sight in civil engineering construction sites of all sizes. A 3D systems is a useful and cost-effective solution and it makes quality control a lot of easier. Machine control and different kinds of information models are part of BIM-based construction sites from source data collecting to handing over and maintenance of the site.

Machine control systems from different manufacturers are mostly used in excavators, bulldozers and graders. Like all other technology, the machine control systems can sometimes cause more work and all kinds of problems and challenges in terms of usability and working methods. This thesis deals with the systems of different manufacturers, different information models and their features.

This thesis inspects the problems and challenges that machine control era in civil engineering has brought with it. New working methods are suggested and solutions provided to avoid problems with BIM-based construction sites in the future. The facts in the thesis are based on many interviews, internet sources of the trade and the author's personal experience gathered from two pilot sites that used machine control in road construction.

It can be concluded that machine control is a good tool for civil engineering, but it also requires much know-how and training to work effectively. Machine control will be an integral part of every civil engineering site in the future and the professionals in the field will be more used to using it than currently.

The field of civil engineering in Finland is conservative and there has been much resistance to the changes by machine control systems and BIM-based building. Most of the resistance will disappear in the future because older generations are making way for newer ones in the field and people in the trade are getting more and more knowledge of the 3D-machine control systems.

---

Key words: machine control, BIM, civil engineering, problem, challenge

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TYÖN TILAAJAN JA TYÖMAIDEN ESITTELYT .....	8
2.1	Graniittirakennus Kallio Oy.....	8
2.2	Vt 4 ja Vt 13 parantaminen Huutomäen kohdalla .....	8
2.3	Vt 4 Äänekosken kohdalla .....	9
3	KONEOHJAUS YLEISESTI.....	10
3.1	Hyödyt .....	12
3.2	Haasteita.....	13
3.3	Mallinnus .....	14
3.3.1	Lähtötietomalli .....	18
3.3.2	Suunnitelmamalli .....	19
3.3.3	Toteutusmalli .....	21
3.3.4	Toteumamalli .....	24
3.3.5	Ylläpitomalli .....	26
4	KONEOHJAUSLAITTEISTOT .....	29
4.1	Leica.....	29
4.2	Novatron .....	32
4.3	Trimble.....	37
5	KONEOHJAUKSEN YLEISET HAASTEET JA NIIDEN HUOMIOON OTTAMINEN TYÖMAALLA .....	43
5.1	Koneohjauksen käyttöön liittyvät haasteet .....	43
5.2	Laitteisiin liittyvät haasteet .....	45
5.3	Koneohjausmalleihin liittyvät haasteet .....	46
6	KONEOHJAUKSEN YLEISET HAASTEET JA NIIDEN VÄLTÄMINEN SUUNNITTELUSSA .....	48
6.1	Mallintamiseen liittyvät haasteet .....	48
7	POHDINTA.....	50
	LÄHTEET .....	52
	LIITTEET .....	55
	Liite 1. Esimerkki referenssityömaa Huutomäen ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmallista. ....	55
	Liite 2. Esimerkki referenssityömaa Huutomäen jakavan kerroksen toteutumamallista.....	56

## LYHENTEET JA TERMIT

3D-Koneohjaus	Satelliittipaikannusta ja erilaisia pintamalleja hyödyntävä, työkoneeseen asennettava järjestelmä, joka auttaa kuljettajaa tekemään työmaalla oikeanlaista pintaa.
3D	3-dimensional, kolmiulotteinen
2D	2-dimensional, kaksiulotteinen
Vt 4 ja Vt 13	Valtatie 4 (Helsinki-Utsjoki) ja valtatie 13 (Nuijamaa-Kokkola)
ST-urakka	Suunnittele ja toteuta -urakka
KU	Kokonaisurakka
GNSS	Global Navigation Satellite System -satelliittipaikannusjärjestelmä
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
GLONASS	GLObal NAvigation Satellite System. Venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä
Galileo	Eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
BeiDou	Kiinalainen, osittain vielä rakenteilla oleva satelliittipaikannusjärjestelmä
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System. Japanilainen satelliittipaikannusjärjestelmä
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System. Intialainen satelliittipaikannusjärjestelmä
Toteutusmalli	Työmaalle toimitettu, valmis mittausaineisto
Pintamalli	Rakenteen jokaisesta pinnasta tehtävä koneohjausmalli
Toteuma	Työkoneen 3D-järjestelmällä otettu rakenteen todettu piste
FTP-Protokolla	Kahden tietokoneen välillä tietoa siirtävä järjestelmä
YIV2015	Yleiset inframallivaatimukset 2015-julkaisu. Määrää infrarakentamisen tietomallinnusta
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Määrää infrarakentamista

Tietomalli	Rakenteesta mallinnettu 3D-malli
Yhdistelmämalli	Kaikista eri rakenteista ja rakenteen osista yhdistelty tietomalli
Osamalli	Jotakin tiettyä rakenteen osaa kuvaava tietomalli
Rajapinta	Jonkin järjestelmän yhtymäkohta, joka mahdollistaa tiedonsiirron laitteiden, ohjelmien tai käyttäjien välillä
InfraBIM-nimikkeistö	Building information model, infran rakennusosien nimikkeistö
AB	Asfalttibetoni
Formaatti	Tiedostomuoto
Rakennusosa	Rakennettavaan kohteeseen jäävä aineellinen osa, joka koostuu rakennneosista (esim. pohjarakenteet tai päällys- ja pintarakenteet)
Rakenneosa	Rakennusosaan pysyvästi jäävä aineellinen osa, jolla on oma toiminnallinen tarkoituksensa (esim. suodatinkerros tai asfalttibetoni)
Infrakit	Tietomallien käyttämiseen, jakamiseen ja työmaanhallintaan tarkoitettu pilvipalvelu
Inframodel 3	Inframalleille optimoitu tiedonsiirtoformaatti
LandXML	Tietomallien tiedonsiirtoformaatti
Trimnet	Geotrim Oy:n ylläpitämä Trimblen laitteistojen tukiasemaverkkopalvelu

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin koneohjauksen käyttöön ja eri laitevalmistajien laitteistojen yhteensovittamiseen liittyviä haasteita ja ongelmakohtia sekä pyrittiin löytämään niihin ratkaisuja. Usein ei ole mahdollista valita työmaalle vain yhden laitevalmistajan koneohjauslaitteilla varustettuja työkoneita.

Työssä käydään läpi pääpiirteissään koneohjauksen toimintaperiaate, siihen kuuluvat laitteistot ja niiden käyttäminen työmaalla. Koneohjauslaitteistoon kuuluu useita erilaisia antureita, satelliittipaikantimia ja tietojärjestelmiä.

Työssä on esitelty suurimpien laitevalmistajien eri laitteistoja, laitteiden käytettävyyttä ja niiden eroavaisuuksia. Työssä pureudutaan myös eri valmistajien laitteistojen yhteensovittamiseen työmaalla ja laitteistojen eroavaisuuksiin keskenään.

Koneohjausmallien suunnittelu ja tietojärjestelmät käydään työssä pääpiirteissään läpi, ja selvitetään mallien suunnitteluun liittyviä haasteita ja mallien suunnittelun eroavuutta eri laitevalmistajien laitteille.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Graniittirakennus Kallio Oy, ja opinnäytetyön ohjaajina toimivat Graniittirakennus Kallio Oy:n laupäällikkö DI Antti Värri sekä tie- ja liikenteekniikan lehtori DI Jouni Sivenius Tampereen ammattikorkeakoulusta. Lähdetietoina käytettiin pääosin haastatteluja, alan kirjallisuutta, laitevalmistajien ja yritysten eri julkaisuja sekä kahdelta referenssikohteena käytetyltä infrarakennustyömaalta kerättyä tietoa ja kokemuksia. Referenssikohteet ovat Äänekosken biotuotetehtaan tieinfraan liittyvät Vt 4 ja Vt 13 parantaminen Huutomäen kohdalla ja Vt 4 Äänekosken kohdalla. Kummassakin urakassa parannettiin olemassa olevaa tieinfraa ja siltakohteita. Työmaat sijaitsevat Äänekoskella.

Referenssikohteilla töissä oli koneohjauslaitteilla varustettuja kaivinkoneita, puskukoneita ja tiehöyliä. Omakohtaiset tiedot ja kokemukset on kerätty näistä laitteista. Koneohjauslaitteistoja on saatavilla muihinkin maanrakennustyökoneisiin, kuten asfalttilevittimiin ja poravaunuihin, mutta ne on rajattu pois työstä ja keskitytty yleisimpiin maanrakennuskoneisiin.

## **2 TYÖN TILAAJAN JA TYÖMAIDEN ESITTELYT**

### **2.1 Graniittirakennus Kallio Oy**

Graniittirakennus Kallion Oy on Suomen suurimpia pörssilistautumattomia infrarakennusalan yrityksiä. Kallio-konsernin yritykset kattavat kaikki infrarakennusalan toimialat. Yritys on perustettu vuonna 1983 ja aluksi yhtiön toimialana oli keskittyä kiinteistökaupoihin ja rakennuttamiseen. Sitten vuonna 2007 yritys aloitti infraurakoinnin, josta tuli myöhemmin GRK:n päätoimiala. Yrityksen kasvu nykyisiin mittoihin alkoi vuonna 2010, jolloin GRK:ssa aloittivat nykyiset avainhenkilöt, joista monesta tuli myös yhtiön omistajia. Yrityksen omistajat ovat edelleen töissä yrityksessä. Vuonna 2016 GRK:n liikevaihto oli 143,6 miljoonaa euroa ja henkilöstöä yrityksen palveluksessa oli 216 henkeä. GRK:n tytäryhtiöitä ovat Viron markkinoilla toimiva, vuonna 2014 perustettu GRK Infra As, Ruotsissa toimiva, 2013 perustettu Ab Infra Polar ja ratarakentamiseen keskittyvä sekä vuodesta 2017 toiminut Nordic Trackpartners Oy, joka vuonna 2018 osti Eltelin Suomen rataliiketoiminnan ja muutti nimensä Winco Oy:ksi.

(Graniittirakennus Kallio Oy 2015)

### **2.2 Vt 4 ja Vt 13 parantaminen Huutomäen kohdalla**

Vt 4 ja Vt 13 parantaminen Huutomäen kohdalla ST -urakassa parannettiin valtatie 4 kaksi- ja kolmekaistaiseksi valtatieksi noin neljän kilometrin matkalta ja valtatie 13 kaksikaistaiseksi valtatieksi noin puolentoista kilometrin matkalta. Valtateiden risteykseen rakennettiin eritasoliittymä. Urakassa parannettiin ja rakennettiin myös yksityis- ja rinnakkaisteitä sekä rakennettiin neljä uutta siltaa. Teiden linjaukset myös muuttuivat vanhoista ja urakkaan kuului lisäksi melusteiden ja kevyen liikenteen väylien rakentamista. Urakka-aika sijoittuu syyskuun 2016 ja elokuun 2018 välille ja urakkahinta oli 14 miljoonaa euroa. Urakan tilaajana toimi Liikennevirasto.

(Graniittirakennus Kallio Oy 2015)

Urakassa käytettiin koneohjausta lähes kaikissa työvaiheissa. Koneohjauslaittein varustettuja työkoneita työmaalla oli aktiivisesti yksi pyöräalustainen kaivinkone, kahdeksan tela-alustaista kaivinkonetta, tiehöylä ja puskukone. Työkoneissa käytössä oli Leica geosystems, Novatronin ja Trimblen koneohjauslaitteistoja. Työmaalla oli myös Leica



geosystems in tukiasema, jolta Leica ja Novatronin koneohjauslaitteet sekä Leica GNSS-mittakeppi saivat koron korjausviestin. Tukiasemakorjauksen avulla varmistettiin, että työkoneilla oli koneohjauslaitteiston valmistajasta ja pintamallista riippumatta sama korko käytössä. Trimblen koneohjauslaitteistoja ei ollut rakentamisen aikana kytkettynä työmaan tukiasemaan.

### **2.3 Vt 4 Äänekosken kohdalla**

Vt 4 Äänekosken kohdalla urakassa muutetaan valtatie neljän linjausta vanhasta paikasta uuteen, tien käytön kannalta järkevämpään paikkaan noin neljän kilometrin matkalta. Lisäksi valtatie muutetaan nelikaistaiseksi moottoritietasoiseksi tieksi noin neljän ja puolen kilometrin matkalta. Urakka käsittää kolmen uuden sillan rakentamisen ja yhden, jo ennestään käytössä olleen ratasillan peruskorjauksen ja leventämisen. Yksi rakennettavista siltakohteista on haastava, noin 220 metriä pitkä vesistösilta. Valtateiden lisäksi urakka käsittää huomattavan määrän alemman verkon tiestöä. Urakka on osa vuonna 2017 valmistuneen Äänekosken biotuotetehtaan uutta tieinfraa, jolla turvataan tehtaalle kyky toimia täydellä kapasiteetilla.

Työmaalla oli tämän opinnäytetyön tekemisen aikaan kokoaikaisessa työssä yli kymmenen kaivinkonetta, kolme puskukonetta, kymmenen dumpperia ja huomattava määrä muuta kalustoa. Puskukoneet ja kaivinkoneet työmaalla ovat varustettuja eri valmistajien 3D-koneohjausjärjestelmillä ja tälläkin työmaalla on käytössä koko aikaista korjausviestiä työkoneiden korkoihin syöttävä tukiasema. Työmaalla käytettiin myös Leica geosystems in GNSS-mittakeppiä ja työkoneiden 3D-koneohjausjärjestelmien paikkatietojen paikantarkkuutta tarkistettiin GNSS-mittakepin tai mittamiehen takymetrin avulla viikottain. Tukiaseman paikka mitattiin kahden viikon välein takymetrillä, ja jos tukiaseman paikkatiedossa ilmeni muutoksia edelliseen mittaukseen, korjattiin tukiaseman korjausviesti paikkansa pitäväksi.

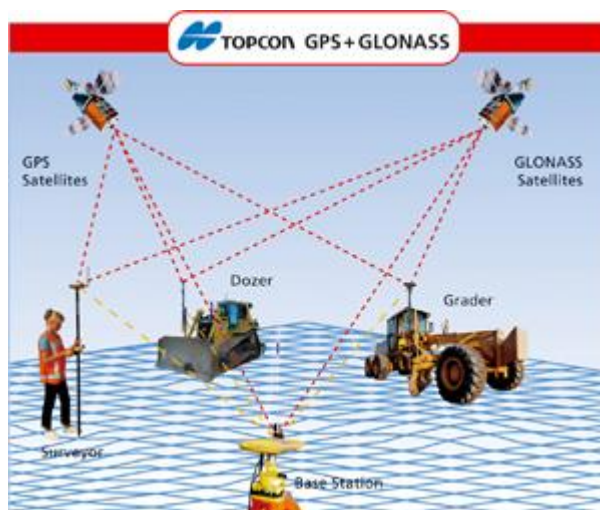
Vt 4 Äänekosken kohdalla toteutetaan STKU -urakkana, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että suurin vesistösilta rakennetaan kokonaisurakkana tilaajan toimittamien siltasuunnitelmien mukaan ja loput urakasta toteutetaan suunnittele ja toteuta -urakkana. Urakan kokonaishinta on 17 miljoonaa euroa ja urakka-aika sijoittuu vuoden 2017 syyskuun ja vuoden 2020 heinäkuun välille.

### 3 KONEOHJAUS YLEISESTI

Koneohjaus on GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmää hyödyntävä laitteisto, joka paikannussatelliitteja ja tukiaseman korjausviestiä hyödyntäen tietää työkonteen kauhan huulilevyn, puskulevyn tai tiehöylän alaterän reunojen koron ja paikkakoordinaatin noin pysyvässä seisovan kananmunan koon tarkkuudella. (Novatron)

GNSS- satelliittijärjestelmä on paikannusjärjestelmä, johon kuuluvat kaikki maan kierto-radalla olevat paikannussatelliitit. Järjestelmä muodostuu yhdysvaltalaisesta GPS-järjestelmästä, venäläisestä GLONASS-järjestelmästä, eurooppalaisesta GALILEO-järjestelmästä, kiinalaisesta BeiDou-järjestelmästä, japanilaisesta QZSS-järjestelmästä ja intialaisesta IRNSS-järjestelmästä. Yhteensä satelliitteja on järjestelmässä 123 kappaletta (24 GPS, 24 GLONASS, 30 GALILEO, 35 BeiDou, 3 QZSS ja 7 IRNSS). Satelliitit lentävät 19 000–23 500 kilometrin korkeudessa ja kattavat koko maapallon. Jos jokin järjestelmästä kaatuu, niin GNSS paikkaa kaatuneen järjestelmän toisella. (Noll)

Pitkästä välimatkasta johtuen signaali on altis erilaisille häiriötekijöille, jotka voivat aiheuttaa epätarkkuutta paikkatietoon. Epätarkkuus voidaan poistaa mittauksesta käyttämällä työmaalla erillistä koneohjauksen kiinteää vastaanotinta eli tukiasemaa. Tukiasema sijoitetaan takymetrillä määritetylle pisteelle ja tukiaseman avulla saadaan selville tunnettujen koordinaattien ja työkonessa havaittujen koordinaattien välinen ero. Tukiasema välittää siis työkonelle korjausviestiä satelliitin signaaliin. (Mäki-Tulokas)



Kuva 1 Havainnekuva GNSS järjestelmästä (Mäkitulokas, J)

Koneautomaatio työmaalla lisää työn tarkkuutta, taloudellisuutta ja vähentää mittamiehen työtä. Koneohjaus on ollut käytössä jo 2000-luvun alusta asti, mutta yleistynyt 2010-luvulla kaiken kokoisille maanrakennustyömaille. Koneohjausjärjestelmien avulla työkoneneen kuljettaja voi ottaa tekemästään pinnasta toteumamittaukset eikä takymetriä tarvita jokaisen pinnan mittaukseen. Tämä helpottaa myös laatudokumentaatiota työmaan aikana ja luovutusvaiheessa. (Laukkanen 2017)

Koneohjauslaitteet kaivinkoneissa ovat 1D, 2D tai 3D-mittalaitteita. Näissä kaikissa yhtenevää on, se että kaivinkoneen puomissa ja kauhassa on anturit, jotka mittaavat ja ilmoittavat puomin ja kauhan liikkeen ja paikan kuljettajalle ohjaamossa sijaitsevan näytön avulla. Puomiston ja kauhan anturit mittaavat etäisyyden ja kulman aina referenssipisteeseen, joka on kaivinkoneen pyörintäkeskeispiste.

(Tanhuanpää 2018)

1D-järjestelmä mittaa näiden antureiden avulla puomiston linjan suuntaisesti kauhan syvyyttä, etäisyyttä, korkoa ja mahdollisesti myös kaivinkoneen rototilttiin asennettavan tilttianturin avulla kauhan kallistusta referenssipisteeseen nähden ja näin tietää kauhan paikan. 2D-järjestelmässä edellämainittujen anturien lisäksi koneeseen asennetaan kompassi, jonka avulla järjestelmä pystyy mittaamaan kahden suunnan kallistusta esimerkiksi koneen pyöriessä. Kompassi tekee 1D-järjestelmästä 2D:n. Useat Suomessa 2D-järjestelminä myytävät laitteet ovat todellisuudessa 1D-laitteita, koska asia on huonosti yleisessä tiedossa, ja 2D-laitteet mittaavat vain harvoin koneen pyörimistä.

(Tanhuanpää 2018)

3D-järjestelmässä anturien ja kompassin lisäksi työkoneseen asennetaan yksi tai kaksi GNSS-antennia. Antennin paikkaa verrataan 3D-järjestelmässä paikkatietoon sidottuun tietomalliin tai johonkin muuhun referenssiin, jonka tarkka paikka on selvillä (esim. tukiasema). Yhden antennin järjestelmälle täytyy järjestelmän käynnistyessä tehdä suunkalibrointi pyörähtämällä kaivinkoneella 90–180 astetta, jotta järjestelmä pystyy antennin tekemän kehän avulla laskemaan kauhan suunnan.

(Tanhuanpää 2018)

### 3.1 Hyödyt

Koneohjaus on tuonut työmaille monia hyötyjä ja säästöjä. Konevoiman optimointi ja työkoneiden siirtely paikasta toiseen on helpompaa niin työnjohdon kuin koneenkuljettajankin näkökulmasta. Tiedonkulku on nopeutunut huomattavasti, koska uudet toteutusmallit voi ladata työkoneen näytölle pilvipalvelua tai koneohjauksen omia ohjelmia hyödyksi käyttäen. Näin työnjohdon ei isolla työmaalla tarvitse käydä erikseen jokaisen työkoneen luona ohjeistamassa uusia kohteita tai tuomassa suunnitelmapiirustuksia kaikille erikseen. Toteutusmalleissa on kaikki rakentamiseen tarvittavat tiedot ja eri pintojen pintamallit työkoneen kuljettajalle.

Koneohjaus helpottaa työmaan massatalouden suunnittelussa ja vähentää huomattavasti mittamiehen työtä. Esimerkiksi rakennettavan tien linjauksen osoittamiseen ei enää tarvita mittakeppejä, vaan kaivinkoneen kuljettaja näkee näytöltään valmiin rakenteen paikan ja eri rakenneosat vaikka paikalla olisi vain neitseellistä metsämaata.

Nyky aikaisten laitteiden avulla työmaalla päästään senttimetritarkkuuteen, mutta laitteistot vaativat myös työmaan henkilöstöltä toimenpiteitä, jotta laitteiston toimivuudesta voidaan olla varmoja. Tukiasemien päivitykset ja huollot ovat tärkeässä roolissa, koska jos tukiasemassa on vikaa, ei mikään kyseisestä tukiasemasta korjausviestiä saava GNSS-laitte työmaalla ole oikeassa korossa ja paikassa.

Koneiden kauhat ja terät täytyy muistaa kalibroida aina vaihdettaessa, jotta uuden kauhan tai terän koordinaattipiste pysyy oikeana eikä järjestelmä laske koordinaattia vanhan kauhan huulilevyn mukaan. Esimerkiksi vaihdettaessa luiskakauhasta kapeaan ojakuhaan saattaa kauhan koordinaatti ennen kalibrointia olla jopa metrin väärässä paikassa, tämä johtuu kauhojen erilaisista muodoista. Usein työmailla on jo laatusuunnitelmassa otettu asia huomioon ja tämän opinnäytteen esimerkkityömailla työkoneiden paikkatietojen oikeellisuutta valvottiin mittaamalla GNSS-mittakepillä kerran viikossa kaikkien työmaalla koneohjausta käyttävien koneiden koordinaatit. Niitä verrattiin kuljettajan näytössään näkyvään koordinaattipisteeseen. Kyseisillä työmailla myös tarkastettiin tukiaseman oikea korko ja koordinaattipiste kahden viikon välein mittaamalla tukiaseman antennin tarkka koordinaatti takymetrillä, ja vertaamalla saatua koordinaattia aikaisempiin mittauksiin.

Jos tukiaseman koordinaatti jostain syystä oli mittausten välillä muuttunut, asetettiin tukiaseman lähettämä korjausviesti vastaamaan tukiaseman nykyistä paikkaa ja tarkastettiin mittausten välissä rakennettujen rakenteiden korot ja paikat.

Koneohjausjärjestelmien tuleminen työmaille on myös vähentänyt huomattavasti mittamiehen työtä, koska 3D-järjestelmällä varustettu työkone ja kuljettaja voivat ottaa valmiista rakenteesta luovutusta ja laaduntarkkailua varten tarvittavat toteumapisteet suoraan rakenteen valmistuttua koneesta käsin. (Heikkala 2017)

### **3.2 Haasteita**

Jotta koneohjausjärjestelmistä saisi parhaan tehon irti, pitäisi koneohjausmallien olla joka tilanteessa ajantasaisia ja koneiden kuljettajien muistaa synkronoida laitteensa tarpeeksi usein, jotta uusimmat mallit päätyvät palvelimelta myös työkoneen ruudulle. Koneenkuljettajien tulee muistaa kalibroida kauha tai terä tasaisin väliajoin ja muistaa myös muuttaa koneohjausjärjestelmän asetukset vastaamaan sitä kauhaa, joka on sillä hetkellä paikallaan. Koneiden korkojen ja paikkatietojen tarkistamisen merkitys korostuu.

Järjestelmien toimintaan pitää pystyä luottamaan, sillä voi olla, että työmaan työnjohdolla ei ole välttämättä ollenkaan suunnitelmadokumentteja heidän valvoessaan työntekoa. Tämä johtuu siitä, että paperisia suunnitelmapiirustuksia ei useinkaan toimiteta työmaalle, vaan kaikki tulee sähköisessä muodossa suoraan toteutusmallina. Työnjohdolla tulisi olla välineet sähköisten mallien tarkasteluun työmaalla.

Työmaan toteumatietojen lataaminen takaisin palvelimelle on usein koneen kuljettajan vastuulla. Jos kuljettaja on kiireinen ja unohtaa ladata ottamansa valmiin rakenteen toteumatiedot palvelimelle, eivät ne välttämättä koskaan päädy työmaatoimihenkilöiden nähtäville ja tästä seuraa ongelmia laadunvarmistukseen ja työmaan luovutukseen. Toteumapisteiden ottamisessa on käyttäjäkohtaisena riskinä myös se, että koneenkuljettaja mittaa toteumat väärästä paikasta tai väärällä kauhan kohdalla. Näissä tapauksissa virhe ilmenee toteumia tarkastaessa ja virheellisesti mitatut toteumat joudutaan ottamaan uudestaan. Tämä lisää työmaalla ylimääräistä turhaa työtä.

Rakentamisen siirtyessä koneohjaus- ja mallinnusmaailmaan on paperisten suunnitelmien ja piirustusmerkintöjen taso heikentynyt. Paperiset piirustukset ovat kuitenkin edelleen tärkeitä infratyömailla työnjohdon työkaluna ja auttamaan eri rakenteiden hahmottamisessa. Koneohjauspohjainen toiminta tarvitsee edelleenkin rinnalleen paperisia suunnitelmia ja piirustuksia.

Positiivista koneohjauksessa on se, että suunnittelijan yksilöllisyys ei enää tämän päivän rakentamisessa näyttele niin suurta osaa ja suunnittelijan taitotaso ei merkitse niin paljoa kuin ennen koneohjaukseen ja tietomallinnukseen siirtymistä. Jos ennen tietomallinnusaikaa suunnitelmissa oli vikaa, ei suunnitelmaa saatu korjattua niin nopeasti kuin tänä päivänä. (Björkqvist 2017)

Koneohjausjärjestelmä on myös arvokas, laitteiden hinnat liikkuvat valmistajasta riippumatta noin 30 000 euron paikkeilla. Siksi osa pienyrityksistä on haluttomia investoimaan laitteisiin. Kaikki työkoneiden kuljettajat eivät myöskään ole halukkaita opettelemaan järjestelmiensä käyttöä niin hyvin kuin olisi mahdollista. Tietotekniset taidot niin työkoneneiden kuljettajilla kuin työnjohdollakin ovat hyvin vaihtelevia ja edelleen ilmenee paljon muutosvastarintaa koneohjausmaailmaa vastaan. Nämä asiat vaikeuttavat järjestelmien käyttöä tehokkaasti ja voivat joissakin tapauksissa jopa lisätä työn määrää rakentamisessa. Muutosvastarinta ja haluttomuus opetella järjestelmien käyttöä ovat kuitenkin vähentymässä työmailla ja tulevat edelleen vähentymään, koska useat suuret tilaajat infra-alalla vaativat kasvavassa määrin koneohjauslaitteiden käyttöä työmaillaan, joten alan ei auta kuin sopeutua ja muuttaa vanhoja toimintamenetelmiään ”vanhan ajan rakentamisesta” tietomallinnukseen ja koneohjaukseen. (Heikkala 2017)

### **3.3 Mallinnus**

Koneohjausmalli tarkoittaa tietomallia, jolla kuvataan valmiin rakenteen yhtä rakenneosaa tai eri rakenneosien yhdistelmää, lähtökohtaisesti kaikki rakentamiseen tarvittavat pinnat ja rakenneosat mallinnetaan. Tietomalli koostuu käytännössä viiva- piste- tai kolmioverkkotiedoista, joilla mallinnetaan valmiin rakenteen pintaa tai yksittäisiä rakenneosia, kuten valaisimia tai sähköjohtoja. Koneohjausmallin luomisessa käytetään valmiin rakenteen paikkatietoa ja sopivaa mallinnusohjelmaa. Malleja voi luoda useilla eri mal-

linnusohjelmilla, kuten Novapoint, 3D-Win, AutoCAD Civil 3D tai Tekla Civil. Mallinnukseen käytettäviä ohjelmistoja on useimmilla tunnetuilla suunnitteluohjelmistoja tarjoavilla yrityksillä. (Määttänen 2014 )

Mallinnusta ohjeistetaan YIV2015-julkaisussa ja InfraRYL:ssä. YIV2015 määrää tarkasti eri mallien tarkkuustasot ja mallinnusvaatimukset. Julkaisussa myös kerrotaan yleisesti malleista ja mallintamisen tavoitteista rakentamisen kaikissa vaiheissa. YIV2015 koostuu 12 osasta, joista jokainen määrittää mallintamista eri rakennusvaiheessa eri tarkoitukseen.



Kuva 2. Yleiset tehtävät tietomallihankkeessa. (Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, Osa 1, sivu 6)

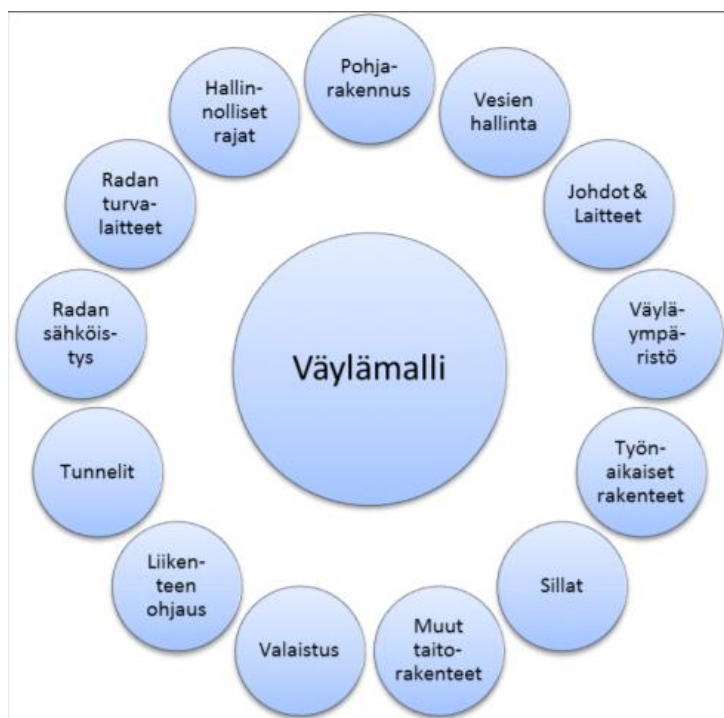
Tietomallipohjaisen hankkeen päätehtävät määrittävät koko rakennettavan infran elinkaa- ren aikaista toimintaa. Päätehtävien tarkoituksena on sujuvoittaa ja selkeyttää suunnitte- lua, rakentamista ja havainnollistaa valmis rakenne.

Ohjaus ja koordinointi suunnataan kaikille rakentamisen osapuolille ja sen avulla selven- netään tietomallipohjaisen hankkeen mallinnusohjeet, yleiset määräykset ja mallinnuksen

tarkkuustaso. Tässä vaiheessa hanke usein myös aikataulutetaan suunnittelun ja mallinnuksen osalta, määritetään hankkeen valvonnasta ja ohjauksesta vastaavat henkilöt sekä nimetään projektiorganisaatio. (YIV2015, Osa 1)

Lähtötietojen hankinta ja mallintaminen tarkoittaa lähtötietoaineiston kokoamista ja dokumentointia lähtötietomalliin. Koottavat lähtötiedot joudutaan usein hankkimaan monista eri paikoista ja tehtävän tarkoituksena on kerätä kaikki tarvittava tieto yhteen paikkaan, helposti saataville. Lähtötietoja ovat muun muassa rakennettavan alueen jo olemassa olevat rakenteet, johdot, korkojärjestelmä, suojelukohteet ja erilaiset kartta-aineistot. (YIV2015, Osa 3)

Suunnittelu ja rakentaminen on rakentamista palvelevaa mallinnusta. Tässä vaiheessa kohteesta mallinnetaan kaikki rakentamista ja suunnittelua palvelevat pinnat ja rakenteet. Rakentaminen tapahtuu inframalleja hyödyntäen ja suunnitelmat toimitetaan nykyään työmaalle lähinnä pelkästään mallinnettuna. Normaalissa tietomallipohjaisessa hankkeessa väylämalli ohjaa muiden rakennemallien suunnittelua ja toimii näille pohjana.



Kuva 3. Väylämallin liittyminen muiden rakenteiden toteutusmalleihin. (YIV2015, osa 4)

Tekniikkalajien yhteensovittaminen tarkoittaa kaikista mallinnetuista rakenteista koostuvan yhdistelmämallin luomista. Yhdistelmämalli pitää sisällään kaikkien eri tekniikkalajien rakenteet. Yhdistelmämallin luomiseksi tarvitaan eri tekniikkalajien mallintajilta ja



suunnittelijoilta vuoropuhelua ja sopimus siitä, missä formaatissa ja miten tietoa vaihdetaan. Yhdistelmämallista hankkeen tietomallikoordinaattori varmistaa eri osamallien riskitiedattomuus, rajapintojen yhteensopivuus ja se ettei eri malleissa esiinny päällekkäisiä tietoja. (YIV2015, Osa 4)

Vuorovaikutus ja yhteistyö on projektin kaikkien osapuolien välistä yhteistyötä. Tietomallipohjainen hanke, kuten kaikki muutkin projektit, sujuu parhaiten silloin kun yhteistyö urakoitsija, suunnittelijan ja tilaajan välillä toimii kitkattomasti. Inframallien käyttö helpottaa asioiden havainnollistamista ja tämä helpottaa vuorovaikuttamista eri osapuolien välillä.

Laadunvalvonta on olennainen osa rakennushankkeen toteuttamista ja ylläpitoa. Tietomallit helpottavat laadunvalvontaa ja ylläpitoa, koska laadun toteutuminen on helppo esittää toteumamallien ja ylläpitomallin avulla. Laadun toteennäyttäminen tietomallipohjaisessa hankkeessa tarkoittaa aineiston yhteensopivuutta, teknistä kelpoisuutta ja kattavuutta. (YIV2015, Osa 1)

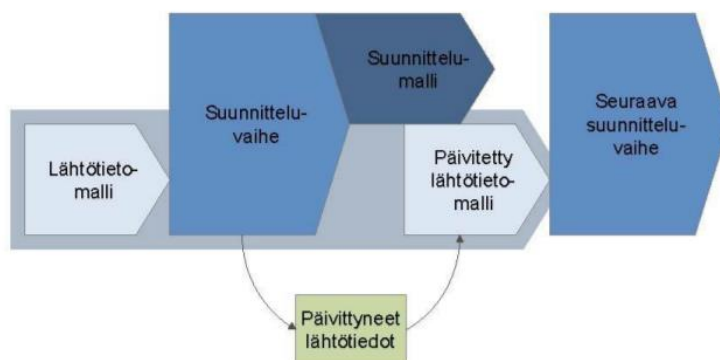
Yleisesti ottaen rakentamisen eri vaiheissa laadittavat mallit ja suunnitelmat ovat lähtötietomalli, suunnitelmamalli, toteutusmalli, toteumamalli ja kunnossapitomalli. Jokaiselle mallityypille on oma aikansa ja paikkansa tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa. Inframallien tyypit ja niiden liittyminen rakentamisen vaiheisiin ja rakennusprosessin kulkuun on havainnollistettu kuviossa 4. Eri vaiheiden malleista kerrotaan tämän kappaleen seuraavissa luvuissa.



Kuva 4. Tietomallipohjaisen hankkeen prosessin kulku ja eri inframallit (YIV2015, osa 8)

### 3.3.1 Lähtötietomalli

Lähtötietomalliin kootaan kaikki saatavilla oleva tieto, josta rakentamisen tai mallintamisen kannalta jossakin vaiheessa voi olla hyötyä tai apua. Hankitut lähtötiedot on tarkoitus harmonisoida mahdollisimman pitkälle siihen muotoon, että se on yhteensopivaa tietomallipohjaiseen hankkeeseen. Lähtötietomallissa hankitut ja harmonisoidut tiedot ovat jäsennehtynä digitaalisessa muodossa. Lähtötietoja voivat esimerkiksi olla maastomalli, maaperämalli ja nykyisten rakenteiden malli.



Kuva 5. Lähtötietomalli osana suunnitteluvaihetta (YIV2015, osa 3, s. 4)

Lähtötietomalli kootaan ennen hankkeen muuta suunnittelua, jotta suunnittelun alkaessa suunnittelijalla on käytössään mahdollisimman kattava aineisto, jonka pohjalta rakennussuunnitelmat ja suunnittelumalli voidaan tehdä. Suunnitteluvaiheen jälkeen lähtötietomallia päivitetään reaaliaikaisesti koko hankkeen elinkaaren ajan uusilla päivittyneillä lähtötiedoilla hankkeesta. Esimerkiksi hankkeen edetessä paljastuneen, kairauksissa löytymättömän kallion pinta tai tarkemmat maastomittaukset voivat olla päivittyviä lähtötietoja. Lähtötietomalliin tallennettu tieto jää elämään koko hankkeen elinkaareksi ja sitä voidaan myöhemmin käyttää tarvittaessa. Lähtötietomallin eteneminen pitkin hankkeen elinkaarta on esitetty kuvassa 6. (YIV2015, osa 3)



Kuva 6. Päivittyvä lähtötietomalli osana rakenteen elinkaarta (YIV2015, osa 3, s.5)

Osassa muuttuvista ja päivitetystä tiedoista on löydettävissä suoraan erilaisista internetin tietopankeista tiedonsiirtorajapintojen kautta. Tällaisten tietojen osalta YIV2015-julkaisu ei ole laatinut erillisiä toimintaohjeita. Rajapintojen välistä tiedonsiirtoa hankaloittaa aineiston muuttuminen ja päivittyminen. Tällaista tiedonsiirtotapaa käytettäessä sovitaan hankekohtaisesti siirrettävistä tiedoista ja niiden käytöstä. Rajapintojen kautta tapahtuva tiedonsiirto voi olla esimerkiksi reaaliaikaisesti päivittyvät tiedot maastokartoista, maaperän tiedoista tai kaupungissa tapahtuvan rakentamisen suunnittelussa käytettävät kaupunkien omat tietokannat. (Buildingsmart)

### 3.3.2 Suunnitelmamalli

Suunnittelumalli on jostakin tietyistä rakenteesta tai pienissä hankkeissa koko hankkeesta muodostettu tietomalli, jossa esitetään suunnittelijoiden ratkaisut. Eri rakenteista laadittavien rakennemallien tulee olla tarpeeksi tarkkoja, jotta väylägeometrioiden, tiealueenrajojen sekä -tilavarauksien ja valmiin rakenteen sovittaminen ympäristöön saadaan suunniteltua ja toteutettua riittävän tarkasti. Suunnitelmamalleista tehdään myös hankkeen massatalouteen liittyviä karkeita laskentoja, joten senkin takia mallien riittävä tarkkuus on tärkeää. Massatalouden tarkka arviointi on kriittistä hankkeen kustannuksien laske-  
miseksi ja seuraamiseksi. (YIV2015, osa 4)

Suunnitelmamalliin mallinnetaan myös hankkeen hallinnolliset rajat 2D-taiteviivoin tai aluerajauksin hankkeesta riippuen seuraavat rajat:

- Tie- tai rata-alueen rajat
- Ehdotettu liikennealueen raja
- Katu- tai puistoalueiden rajat
- Suoja- ja näkemäalueet sekä niiden rajat
- Urakka-alueella olevat rasitteet, niiden rajat ja työnaikaiset oikeudet sisältäen rakentamisen aikaiset haltuunottoalueet

- Suojelualueet ja niiden rajat
- Urakan käytössä olevat läjitysalueet sekä maa-ainesten ottoalueet, näistä mahdollista mallintaa myös tilavuuden ilmoittava 3D-malli.

(YIV2015, osa 4)

Edellä mainitut rajat esittävään malliin on mahdollista sisällyttää myös väylien paaluluku-  
tietoja, väylien nimiä, tunnuksia tai hallinnollisia muutoksia sisältävää tietoa alueesta.

Suunnitelmamalliin kuuluu myös väylämalli (ks. kuva 3), joka omalta osaltaan ohjaa mui-  
den rakenteiden suunnittelua. Väylämallissa esitetään rakenteesta pintamalleina:

- kaikki rakennekerrokset merkittävimmistä väylistä
- ylin- ja alin yhdistelmäpinta kaikista väylistä sisältäen taiteviivat niistä kohdista, joissa rakenteen pinta muuttuu, näitä ovat esimerkiksi ojat, luiskat ja reunatuet
- Pintamaan poiston pinta koko rakennusalueelta

Väylämallissa esitetään myös kaksi- tai kolmiulotteisina aluerajauksina mahdolliset nä-  
kemäraivaukset ja -leikkaukset. Rakennettavat tiekaiteet, radan kiskot ja radan varusteet  
sekä vaihteet mallinnetaan 2D tai 3D- taiteviivoina. (YIV2015, osa 4)

Väylämallissa esitetään myös väylän geometriat. Vaaka- ja pystygeometriat mallinnetaan  
koko väylän mitalta, ajoratojen reunalinjat sekä reunakivet ja niiden linjaukset mallinne-  
taan vähintään tyyppipoikkileikkauksesta eroavin osin. (YIV2015, osa 4)

Mallinpohjaiseen suunnitteluun pätevät samat tarkkuusvaatimukset kuin perinteiseenkin  
rakentamiseen. Väylät mallinnetaan niin, että mallista voidaan lukea väylien sijainti,  
käyttötarkoitus, korkeusasema, poikkileikkaus ja kuivatusjärjestelyt pystytään merkitse-  
mään maastoon rakennusmääräysten mukaisella tarkkuudella ja niiden vaikutukset voi-  
daan arvioida. Mallin tulee olla niin tarkka, että voidaan olla varmoja suunnitelmaratkai-  
suista. Siirtymärakenteiden mallintaminen ei ole pakollista, mutta etenkin jo valmiiksi  
rakennetussa ympäristössä kannattaa jo tässä vaiheessa suunnitella eri siirtymäratkaisut  
sillä tarkkuudella, että rakenneratkaisujen toimivuudesta voidaan olla varmoja.  
(YIV2015, osa 4)

Rakenneos	Suurin sallittu yks. sijainnin poikkeama (InfraRYL)	Suurin sallittu yks. korkeuden poikkeama (InfraRYL)	Työkoneautomaatiojärjestelmältä vaadittava mittaustarkkuus toteumamittauksia varten XY;Z
	mm	mm	mm
Maaleikkaus (201100), maatai louhepengeri (18100), tie ja rata	- 0 / +200	+ 0 / -100	+/- 100; +/-30
Suodatinkerros, tie/rata (211100)	- 0 / +150	+/- 40	+/- 100; +/-30
Jakavakerros, tie (212100)	- 0 / +150	+/- 30	+/- 100; +/-30
Kantavakerros, tie (213100)	- 0 / +150	+/- 20	+/- 50; +/-20
Eristyskerros yläpinta, rata (212200)	- 0 / +100	+0 / -50	+/- 50; +/-20
Välikerros yläpinta, rata (212300)	- 0 / +50	+0 / -20	+/- 50; +/-20

*Taulukko 1. InfraRYL:ssä vaaditut maarakenteiden tarkkuustasot ja työkoneautomaation vaadittu mittatarkkuus (YIV2015, osa 12)*

### 3.3.3 Toteutusmalli

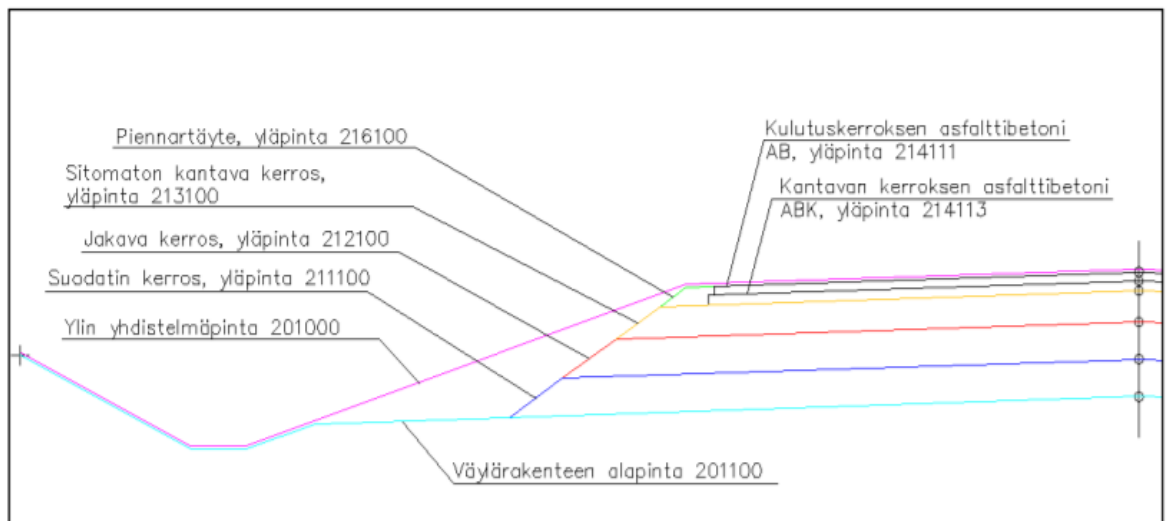
Toteutusmalli tarkoittaa rakennettavan kohteen eri rakenneosista mallinnettavaa tietomallia, jota apuna käyttäen varsinainen rakentaminen jo hankkeen toteuttaminen tapahtuu. Toteutusmallit ovat niitä tietomalleja, jotka ladataan työkoneeseen ja työkoneen kuljettaja mallin perusteella rakentaa mallinnetun rakenteen. Väylärakenteen toteutusmalliin kuuluu kaikkien koneohjauksella rakennettavien pintojen ja rakenteiden toteutusmallit. Väylärakenne on oma toteutusmallinsa ja sen jokainen erillinen rakennepinta on myös oma toteutusmallinsa. Toteutusmallin laatimisessa vaatimuksena on, että jokainen sellainen rakenneos, jonka rakentamisessa käytetään hyväksi työkoneohjausta, on mallinnettava. (YIV2015, osa 5.2)

Väylärakenteen toteutusmalli koostetaan yleensä INFRA 2006 rakennusosa- ja hanke-nimikkeistön mukaisesti. Väylämallin rakennusosat ovat yleensä 1400 Pohjarakenteet, 1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot, 1800 Penkereet, maapadot ja täytöt, 2100 Päällysrakenteen osat ja 2400 Ratojen päällysrakenteet. (YIV2015, osa 5.2)

Edellä mainituista rakennusosista mallinnetaan yleisimmin infraBIM-nimikkeistön mukaiset pinnat:

- Ylin yhdistelmäpinta (YYP)
- Kulutuskerroksen yläpinta (AB)
- Kantavan kerroksen yläpinta
- Jakavan kerroksen yläpinta
- Suodatinkerroksen yläpinta
- Alin yhdistelmäpinta (AYP)
- Massanvaihtokaivanto
- Putki- ja johtokaivannot
- Maapenkereen yläpinta
- Roudaneristyksen alapinta
- Eristyskerroksen yläpinta
- Välikerroksen yläpinta
- Tukikerrosten yläpinnat
- Avo-ojat ja uomat

(YIV2015, osa 5.2)



Kuva 7. Väylärakenteen toteutusmallin pintojen nimet ja kodit infraBIM- nimikkeistön mukaisesti (YIV2015, osa 5.2)

Toteutusmalleissa mallien tarkkuusvaatimukset eritellään pintojen ja taiteviivojen jatkuvuusvaatimuksiin ja niiden geometrisiin vaatimuksiin. Samoja tarkkuusvaatimuksia käytetään toteutusmalleissa kaikissa pinnoissa.

Taiteviivojen ja pintojen jatkuvuudella tarkoitetaan viivan tai pinnan jatkumista seuraavaan viivaan tai pintaan ilman katkeamisia eli epäjatkuvuuskohtia. Käytännössä edellisen taiteviivan päättymisen X,Y ja Z-koordinaatin tulisi olla samat kuin seuraavan viivan alkupisteen koordinaatin. Taiteviivoista muodostuu pintoja. Vaatimuksena on, että mallissa ei saa olla päällekkäisiä taiteviivoja eikä pystysuoria pinnanmuutoksia. Kun mallinnettu väylä liittyy toiseen väylään saa eri väylien toteutusmallien väliin jäädä korkeintaan yhden metrin mittainen rako. Tavoitteena on, että koko hankkeen toteutusmallin kaikki väylät, rakenteet ja pinnat muodostavat mallin joka sopii yhteen ilman rakoja.

(YIV2015, osa 5.2)

Taiteviivojen geometrinen tarkkuus tarkoittaa toteutusmallin taiteviivan sijaintia laskennalliseen geometrialinjaan nähden. Mallinnetun taiteviivan ei tule poiketa laskennallisesta linjasta yli kolmea millimetriä ei yksittäinen taiteviiva saa olla yli kymmentä metriä pitkä.

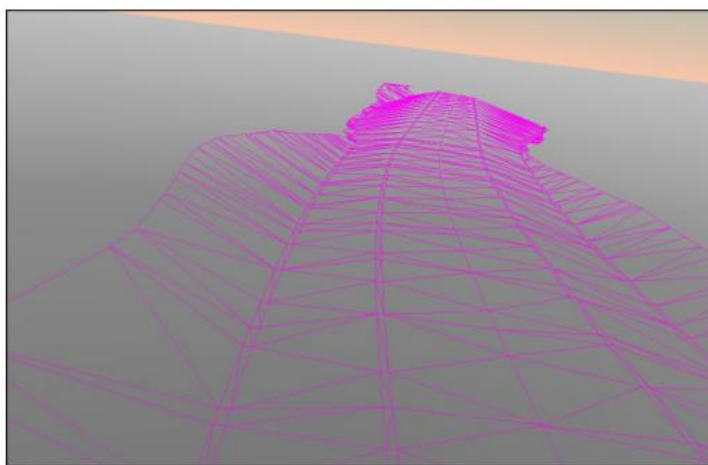
Poikkeamat mallinnetun ja laskennallisen viivan välille syntyvät vaaka- ja pystykaar-teissa. Kolmen millimetrin teoreettinen tarkkuus on muodostunut ohjenuoraksi toteutusmalleissa, koska tällöin toteutusmalli on riittävän tarkka suhteessa suunnitelmamalliin, mutta kuitenkin mittatarkkuudeltaan niin kevyt, että työkoneiden koneohjauslaitteet pysyvät hyödyntämään niitä tarpeeksi tehokkaasti eikä malli tuota ongelmaa koneohjauslaitteen laskentateholle. Taiteviivan minimipituutena voidaan normaalissa tielinjassa pitää puolta metriä, tämän tiheämpään viivaväliin ei ole edes kaarteissa tarpeellista päästä, koska työmaalla rakenne kuitenkin toteutetaan mukaillen pyöreätä muotoa. Erityiset koh-teet, kuten meluvallien harjakaarteet tai tiukat liittymäkaaret voidaan mallintaa myös ti-heämmällä viivaketjulla. (YIV2015, osa 5.2)

Toteutusmallit tarkastetaan mallintajan tai suunnittelijan toimesta ennen niiden käyttöön-ottoa ja mahdolliset virheet korjataan. Tarkastuksella todetaan että aineiston vaatimusten mukaista. Tarkastuksessa huomioidaan vähintään seuraavat asiat:

- Kaikki pyydetty rakennusosat on mallinnettu
- Taiteviivoissa ei ole sallitut arvot ylittäviä epäjatkuvuuskohtia

- Pinnoissa ei ole päällekkäisiä taiteviivoja
- Malleissa ei ole ylimääräisiä viivoja tai pisteitä
- Pinnoissa on suunnitelmamallin mukaiset kaltevuudet
- Pinnasta muodostettava kolmioverkko on säännönmukainen
- Suunnitelmamalli ja toteutusmalli vastaavat toisiaan tarkkuusvaatimusten mukaisesti
- Käytetyt koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät ovat oikeita
- Aineiston formaatti on oikea

(YIV2015, osa 5.2)



Kuva 8. Säännönmukainen pinnasta muodostettu kolmiomalli (YIV2015, osa 5.2)

Valmiin rakenteen osalta sallitut poikkeamat ja rakenteiden kelpoisuuden osoittamisen tarkkuusvaatimukset määrittää infraRYL. (YIV2015, osa 5.2)

Esimerkki toteutusmallista Huutomäen referenssityömaalta on esitetty liitteessä 1.

### 3.3.4 Toteumamalli

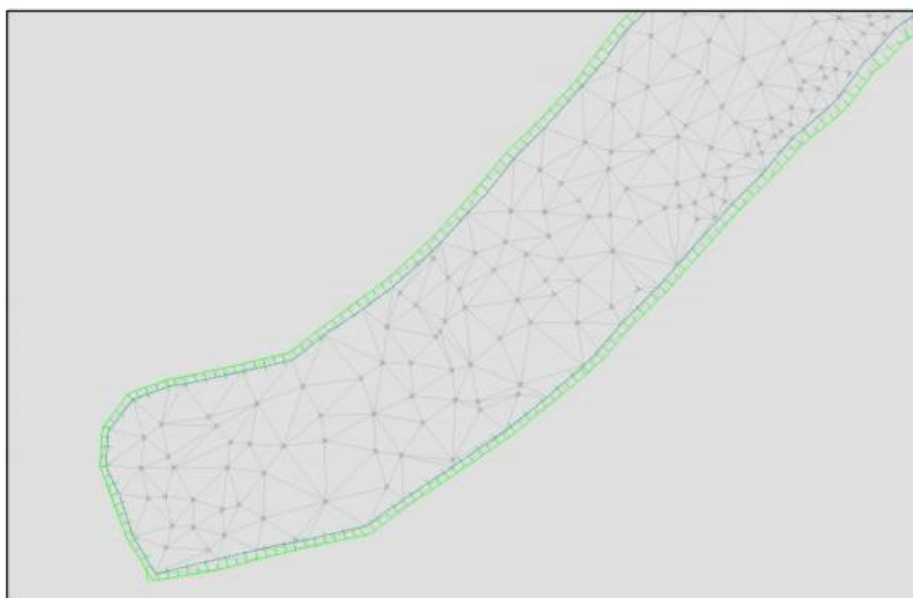
Toteutusmallista koostetaan rakentamisen jälkeen toteumamalli, joka havainnollistaa rakennusaikana toteutuneet rakenteet ja rakenneosat. Toteumamallissa esitetään rakennusaikana 3D-koneohjausjärjestelmillä otetut toteumapisteet eri rakenteista ja rakennepinnoista tilaajan vaatimalla tarkkuudella. Toteumamalliin voidaan myös mallintaa erilaiset rakentamisen aikana toteutetut rakenteen ja järjestelmät, kuten putkilinjat, sähkökaapelit ja muu kunnallistekniikka. Toteumamalli luovutetaan tilaajalle urakan luovutusvaiheessa osana laadunosoitusta.



Toteumamallin muodostaminen tapahtuu samalla periaatteella kuin koko hankkeen toteutusmallikin. Jokaisesta rakennepinnasta ja rakennusosasta on oma toteumamallinsa jotka toteumamallin laatimisen yhteydessä yhdeksi tietomalliksi, rakennetun kohteen toteumamalliksi. Joissakin kohteissa, tilaajan näin hyväksyessä voi myös toteutusmalli toimia suoraan toteumamallina kun varsinainen rakentaminen on suoritettu toteutusmallin mukaan ja sallittuja toleransseja noudattaen eli kaikki toteutusmallin kuvaamat pinnat on rakennettu urakan laatusuunnitelman tai kunkin työvaiheen työvaihekohtaisessa työ- ja laatusuunnitelmassa esitettyjen vaatimusten mukaisesti.

Toteumamalliaineisto on käytännössä rakentamisen aikana eri rakennepinnoista 3D-ko-neohjauksella otettujen toteumapisteiden ja toteutusmallin taiteviivojen mukaisesti laadittu kolmioverkkomalli, joka voidaan vielä tarpeen vaatiessa mallintaa havainnollista-vaan muotoon. Toteumamallista käy ilmi toteumapisteiden sijainnit X, Y ja Z koordinaa-tistossa, eli siitä näkee jokaisen pisteen tarkan paikan ja koron. (YIV2015, osa 5.3)

Tätä opinnäytetyötä tehdessä referenssityömailta ei ollut vielä saatavilla toteumamalleja, mutta alla (kuvat 9 ja 10) esitettynä massanvaihdsta mitattujen toteumapisteiden muo-dostaminen toteumamalliksi.



Kuva 9. Massanvaihdsta mitatut toteumapisteet kolmioituna kolmioverkkoon (YIV2015, osa 5.3)



*Kuva 10. Kuvassa 9 esitettyjen toteumapisteiden kolmioverkkomallista muodostettu toteumamalli (YIV2015, osa 5.3)*

Urakan luovutusvaiheessa tilaajalle luovutettava aineisto pitää sisällään muun rakentamisen laadunosoituksen lisäksi toteumamallin. Luovutettavasta toteumamallista on ennen luovutusta tarkastettava:

- Kaikki vaadittu aineisto on mallinnettu ja lisätty toteumamalliin
- Toteumamallin kaikki aineisto on oikeassa korko- ja koordinaattijärjestelmässä
- Aineisto on tilaajan vaatimassa formaatissa
- Jos toteumamalli laaditaan suoraan toteutusmallista, pitää toteutusmallin täyttää sille määritetyt vaatimukset

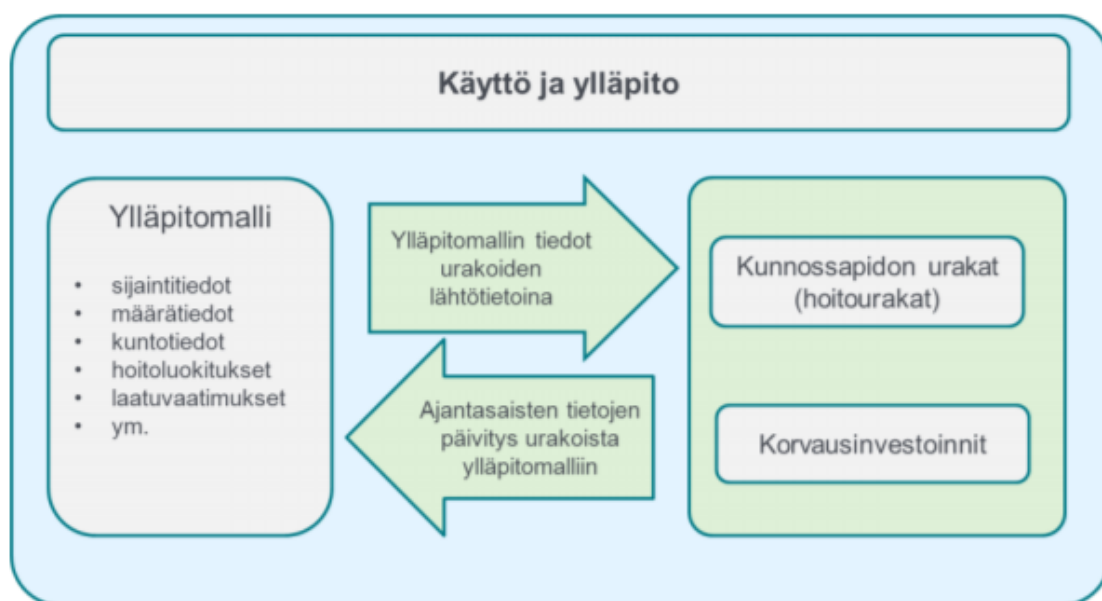
(YIV2015, osa 5.3)

Esimerkki referenssityömaa Huutomäen jakavan kerroksen toteumamallista on esitetty liitteessä 2.

### **3.3.5 Ylläpitomalli**

Ylläpitomalli on talonrakennuspuolella jo hyvinkin tuttu työkalu helpottamaan rakennuksen koko elinkaaren aikaista huoltoa ja ylläpitoa ja täydentämään rakennuksen huoltokirjaa. Myös maanrakennusalalla tietomallien käyttäminen kohteiden huollossa ja ylläpidossa on alkanut yleistymään. Ylläpitomallin laatimisen pohjatietona toimii usein hankkeesta tehty toteumamalli, johon lisätään tarvittavat, ylläpitoon liittyvät tiedot. Ylläpito-

mallia voidaan usein pitää kohteen huoltokirjana, koska siitä muodostuu mallin laatimisen jälkeen rakennetun kohteen käytön ja huollon vaatima tietopankki. Tavoitteena on, että kaikki kohteen huoltoon ja ylläpitoon liittyvä tieto on ylläpitomallissa samassa paikassa helposti saatavilla ja huoltotöistä vastaavat tahot voivat saada ne käsiinsä tarvittaessa. (YIV2015, osa 1)



Kuva 11. Ylläpitomalli osana rakennetun kohteen käyttöä ja ylläpitoa (YIV2015, osa 1)

Inframallien hyödyntäminen infrarakennuskohteen käyttöönotossa ja ylläpidossa on mahdollista muun muassa:

- Esteettömyyteen liittyvissä tarkastuksissa
- Hätäpoistumisreittien simuloinnissa
- Savunpoistoon liittyvissä simuloinneissa (esim. maanalaiset parkkihallit tai tunnelit)
- Huolto- ja käyttöhenkilökunnan valmennuksessa sekä pelastusviranomaisten harjoittelussa
- Viranomaisrekistereihin luovutettavan tietomalliaineiston toimittamisessa ja tila-alueen havainnollistamisessa

(YIV2015, osa 1)

Liikennevirasto on viime vuosien aikana toteuttanut useita pilottihankkeita liittyen ylläpitomallin hyödyntämiseen tieinfran parannuskohteissa ja päällysteen parannushankkeissa. Pilottihankkeissa korjattiin tien päällysteen kuntoa, tielinjan pituuskaltevuutta sekä tien pinnan sivukaltevuutta. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen tienparannushanketta Vt 6 Koskenkylä–Kouvola. Hanke toteutettiin kahdessa osassa. Hankkeen toteuttamisessa kohteet laserkeilattiin pistepilviaineistoksi, josta voitiin tulkita tien silloisen nykytilanteen pinnan muoto. Laserkeilauksella saadusta pistepilviaineistosta muodostettiin kohteesta nykytilamalli, jonka perusteella arvoitiin päällysteen korjaamisen tarpeellisuutta. Nykytilamalliin laskettiin taiteviivoja apunakäyttäen teoreettinen vertailupinta, jota pitkin tien tasauksen ja pinnan sivukaltevuuden tulisi kulkea. (Arola. Niemi. Pienimäki 2015)

Teoreettista vertailupinta kuvasi kohteella sitä pintaa, jossa tien päällysteen tulisi olla. Vertailupinnasta muodostettiin toteutusmalli, jota käytettiin varsinaisessa tien parantamisessa. Tämän toteutusmallin perusteella olemassa olevasta tiestä poistettiin tasausjyrsimällä pinnan epätasaisuuksia (patteja) ja kohdistettiin massatasaustoimenpiteet niille tien pinnan kohdille, joissa epätasaisuus teoreettiseen tien pintaan oli yli kaksi senttimetriä. Tällä hankkeella pilottimittausten ja suunnittelun kokonaishinnaksi muodostui noin 1000€/km. (Arola. Niemi. Pienimäki 2015)

Laatutarkastelussa selvisi että tien pinnan tasaisuus oli hankkeen toteuttamisen jälkeen parantunut ja tienkäyttäjien mukavuus parantui. Toteuttamisen aikana tasausmassa oli kohdentunut pistepilviaineiston perusteella oikeisiin paikkoihin ja massan määrän optimointi hankkeella onnistui. Massat pystyttiin kohdentamaan tarkasti ja määrä- ja paikkatietoa tasausmassalle pystyttiin noudattamaan urakoitsijasta riippumatta. Etukäteen suunnittelu toi hankkeelle myös merkittäviä kustannussäästöjä. (Arola. Niemi. Pienimäki 2015)

Liikenneviraston pilottihankkeet ja tutkimukset ovat yksi tehokas tapa hyödyntää tietomallinnusta rakennushankkeen ylläpidossa. Ylläpitomallien käyttäminen infrarakentamisessa tulee luultavasti yleistymään tulevaisuudessa.

## 4 KONEOHJAUSLAITTEISTOT

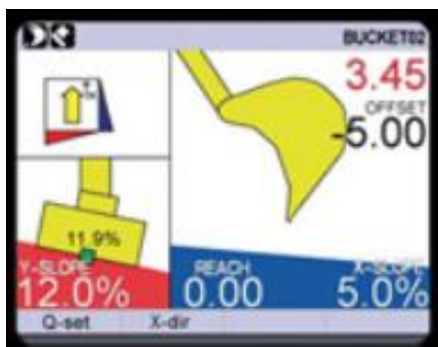
Suomen koneohjauslaitemarkkinoilla toimii pääosin kolme suurta toimijaa: Leican koneohjauslaitteita maahantuova ja myyvä Leica Geosystems Oy, Novatronin järjestelmiä valmistava ja myyvä Novatron Oy ja Trimblen koneohjauslaitteita maahaantuova ja myyvä Sitech Oy. Laitteissa on keskenään hyvin vähän eroa käytettävyydessä, hinnassa tai mallissa, mutta siitä huolimatta eri valmistajien laitteistojen yhteensovittaminen saattaa usein lisätä mallintajan tai tietomallikoordinaattorin työtä työmaaolosuhteissa.

### 4.1 Leica

Leica Geosystems Oy on sveitsiläisen Leica Geosystems AG:n omistama suomalainen yhtiö. Yhtiö on valmistanut ja toimittanut koneohjauslaitteita ja muita mittalaitteita jo pitkään ja on vakiinnuttanut asemansa kolmen suuren koneohjaus- ja mittalaitteita valmistavan yrityksen keskuudessa. Yritys tarjoaa myös laitteistoihinsa liittyä koulutuksia ja huoltopalveluita. Eniten työmailla nähtyjä Leican mittalaitteita ovat kaivinkoneisiin asennettavat Leica iCONtroll 2D- ja 3D-koneohjauslaitteet ja Leica iCONstruct takymetrit sekä GNSS-mittauslaitteet.

(Leica-geosystems)

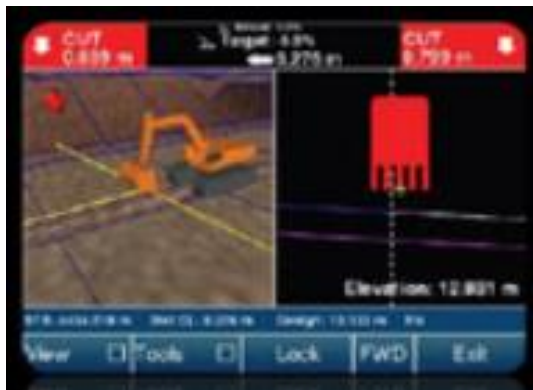
Työkoneeseen asennettava 2D-koneohjausjärjestelmä on 3D-järjestelmää halvempi ratkaisu ja toimii silloin kun rakennettavasta kohteesta tarvitaan vain esimerkiksi korkotietoa ja kauhan asennon profiilikuvaa. Työmaalla 2D-järjestelmällä varustettua työkonetta voi käyttää perinteisiin kaivutöihin, kuten ojien kaivamiseen, pengerrykseen tai pohjatöiden tekemiseen. Halvemmassa hinnastaan huolimatta 2D-järjestelmiä on työmailla käytössä vain harvoin, koska työkoneyrittäjät usein tahtovat ostaa 3D-järjestelmän, sillä sen puuttuminen saattaa estää joillakin työmailla pääsyn töihin.



Kuva 12. Näkymä 2d-koneohjausjärjestelmän näytöltä. (leica-geosystems.fi)

3D-koneohjausjärjestelmää käytettäessä työkoneen kuljettaja näkee kauhansa ja koneensa tarkan paikan ja liikkeen koko ajan näytöltään. Näytöllä näkyy myös pintamalli, jonka mukainen valmis rakenne tulee olemaan. Näin siis koneen kuljettajan on helppo katsoa näytöltä oikea kaivuukorko ja -paikka. Kuljettaja voi myös tarkastella mallia eteenpäin ja tehdä omia malleja auttaakseen omaa työntekoaan.

(Leica-geosystems)



Kuva 13. 3D-järjestelmällä varustetun kaivinkoneen kuljettajan näytön näkymä. (leica-geosystems.fi)

Leican 3D-järjestelmä on helppokäyttöinen ja sen valikot ja näkymät kuljettajan näytöllä ovat yksinkertaisia. Uudet mallit on helppo ladata järjestelmään ja erona muihin järjestelmiin on se, että kuljettaja saa näytölleen näkymään useita eri malleja päällekkäin. Näin kuljettaja voi pitää näytöllään koko ajan vaikka tielinjan jakavan kerroksen pintamallia sekä tien valaistuksen mallia. Tämä helpottaa kokonaiskuvan hahmottamista ja jos tielinjaa kaivetaan eteenpäin, voidaan samalla mallia vaihtamatta kaivaa paikalleen valaisimien jalustat ja kaivaa valaistuksen johdoille kanaalia. Leican järjestelmään saa myös ladattua tietomallit samassa formaatissa kuin Novatronin järjestelmään. Tämä helpottaa koneohjauksesta ja malleista vastaavan työnjohtajan työtä, koska eri koneisiin ladattavien mallien tiedostomuotoja ei tarvitse vaihtaa.

Huono puoli Leican järjestelmän käytettävyydessä on se, että pitkällä tielinjan mallilla koneen kuljettaja ei voi liikkua mallilla eteenpäin liikkumatta koneella. Tämä tuo haasteita työnjohdolle, joka saattaa työmaalla olla vain työkoneen näytöltä näkyvän kuvan varassa ja liikkumisominaisuuden puuttuminen vaikeuttaa sekä koneen kuljettajan että työnjohdon ennakkosuunnittelua tulevista työvaiheista. Mallia pystyy Leican järjestelmällä zoomaamaan ylöspäin, jolloin näkee työmaata pidemmälle, mutta ylöspäin zoomatessa myös näytöltä näkyvä kuva muuttuu epäselvemmäksi.

Nykyään Leican järjestelmiä on myös käytössä niin paljon, että huoltopalvelut ovat kii-reisiä. Huolto toimii hyvin silloin kun huoltomiehen saa työmaalle tai puhelimeen, mutta siinä voi usein kestää pitkäänkin. Muutamia vuosia sitten, kun laitteet eivät olleet niin yleisessä käytössä kuin nykyään, huoltopalvelu toimi erinomaisesti.

(Salmela 2018)

Leica-Geosystems erottautuu kilpailijoistaan ensiksikin sillä, että Leica tarjoaa tuotteita kaikkiin infrarakentamisen segmentteihin ja rakentamisen kaikkiin vaiheisiin. Leicalla on koneohjausjärjestelmät muun muassa kaivinkoneisiin, tiehöyliin, puskukoneisiin, paalu-tuslaitteisiin, poravaunuihin sekä asfaltinlevittimiin. Lisäksi yrityksellä on näihin sovel-tuvat ohjelmistot sekä käyttöliittymä. Leica on myös infrarakentamisen mittaustaitteiden suuri valmistaja, jonka valikoimassa on laitteita takymetreistä laserkeilauslaitteistoihin.

(Tanhuanpää. 2018)



Kuva 14. Teknologioita infrarakentamisen vaiheisiin. (Tanhuanpää. 2012)

Leica kehittää myös jatkuvasti automatiikkaa kaivinkoneisiin kauhan ja pyöriksen hal-linnaksi. Nämä laitteet hallitsevat kaivinkoneen liikkeitä ja pakottavat sen mukailemaan toteutusmallin linjoja. Kauhaa hallitsevia koneohjauslaitteita kaivinkoneisiin on jo Suo-messakin myyty ja tulevaisuudessa tullaan luultavasti menemään siihen, että kaivinkone työmaalla on ainakin osittain automaattinen laite. Puskukoneisiin Leicalla on ollut jo useita vuosia tuotannossa hydraulikkaa ja terän liikkeitä ohjaava koneohjauslaite, jonka sensorit ”haistelevat” koneen työkapasiteetin ja optimoivat terän liikkeet ja koneen no-peuden. Tämän ansiosta konetta voidaan työmaalla ajaa maksimi työnopeudella. 99 %

Leican puskukoneiseen myymistä koneohjauslaitteista ovat näitä robottikoneohjauslaitteita. Robottiohjatun puskukoneen kanssa samanlainen järjestelmä löytyy myös tiehöyliin. Höylä ohjaa automatiikan avulla teräänsä, joka mukailee toteutusmallin tavoitepintaa. Näin kuljettajan tarvitsee ohjata vain konetta ja hän voi terän ohjaamisen automatiikalle. Myös Trimblellä on valikoimassaan samantyyppinen järjestelmä.

(Tanhuanpää 2018)

Järjestelmät tukevat monia erilaisia mallityyppejä. Työkoneissa voi käyttää pistetietoa, viivatietoa ja useita muita mallityyppejä ja formaatteja. Näistä tarkin on linjamainen tieto. Linjamaisessa tiedossa voi olla koko tielinjan kattava malli, jossa tien linjojen väliin (reunalinjat, keskilinja, sisäluiska ja ulkoluiska) mittari mittaa joka millin kahden linjan välillä. Linjamaisessa tiedossa mitataan myös kallistus, jos toinen linja on alempana kuin toinen, lasketaan siitä kallistus. Tällä tietotyyppillä eliminoidaan kolmioverkon epätarkkuus, koska yhtäkään kohtaa rakenteen mittauksesta ei jää interpoloidun laskennallisen tiedon varaan, vaan kaikesta saadaan absoluuttinen tieto. Tätä mallityyppiä joudutaan käyttämään esimerkiksi asfalttilevittimissä. (Tanhuanpää 2018)

Sensoriteknikkaan Leica panostaa paljon. Leica käyttää SP-sensoritekniikkaa, joka on tällä hetkellä markkinoiden ainoa koneohjausanturi, joka täyttää IP68-luokituksen eli se kestää jatkuvaa upotusta veteen. Anturit täyttävät myös luokitukset ja standardit käyttöön ruoppaustyössä, joten ne soveltuvat erityisesti pitkäpuomisiin kaivinkoneiseen ja vedenalaiseen kaivamiseen. Sensoreiden käyttölämpötila on -40–105 astetta celsiusta, joten ne eivät hyydy ja pitävät tarkkuuden kunnollisena.

## 4.2 Novatron

Novatron Oy on suomalainen, Tampereelta lähtöisin oleva koneohjausjärjestelmien suunnittelua, valmistumista ja myyntiä harjoittava yritys, joka on perustettu vuonna 1991 nimellä Novatron Tmi. Ensimmäiset Novatronin kehittämät ja valmistamat maanrakennuskoneiden lisälaitteet olivat tiehöyliin tarkoitettut terän kaltevuusmittarit. Mittarit olivat yksinkertaisia ja analogisia, mutta niiden markkina oli pieni. Sitten Novatron kehitti kaivinkoneisiin tarkoitettua kauhan syvyysmittarin, jossa oli digitaalinen syvyysnäyttö ja yksi nappula, josta syvyyden sai nollattua haluamalleen tasolle.

(Novatron)



Nykypäivänä Pirkkalassa pääkonttoriaan pitävän Novatron Oy:n liikevaihto on yli kymmenen miljoonaa euroa, yritys toimii kansainvälisesti ja työllistää yli 70 henkilöä. Novatronin päätuotteita ovat kaivinkoneisiin tarkoitetut 3D-koneohjauslaitteet. Yritys tekee tiivistä yhteistyötä eri yliopistojen ja tutkimuslaitosten kanssa ja panostaa tuotekehitykseen vahvasti koko ajan.

(Novatron)

Novatronilla on tuoteperheessään kaivinkoneisiin tarkoitetut Xsite EASY sekä Xsite PRO 2D -2D-koneohjausjärjestelmät ja Xsite PRO 3D -3D järjestelmä. Xsite EASY mittaa kauhan syvyyttä, etäisyyttä ja kaatoa. Xsite PRO 2D on 2D järjestelmä, joka sisältää aidon valmiuden järjestelmän päivittämiseksi 3D-järjestelmäksi. Xsite PRO 2D –järjestelmään tarvitaan vain sateelliittipaikantimet ja 3D-järjestelmän ohjelmisto, niin järjestelmä on päivitetty 3D-järjestelmäksi. Xsite PRO 3D on täysverinen 3D järjestelmä, johon kuuluu useita älykkäitä, työtä helpottavia ominaisuuksia ja joka mahdollistaa koneohjausmallien käyttämisen tehokkaasti.

Novatronin tuotteisiin kuuluu myös Xsite PRO 3D- järjestelmät pyöräkuormaajaan ja puskukoneeseen. Pyöräkuormaajan ja puskukoneen koneohjauslaitteet toimivat samalla periaatteella kuin kaivinkoneenkin. Kuljettaja näkee näytöllään pintamallin tavoitepinnan ja oman koneensa kauhan tai terän tason.

(Novatron)

Työnjohdolle Novatronin tuotteista löytyy kehityksen alla oleva, kohta myyntiin tuleva Xsite OFFICE ja jo myynnissä oleva Xsite PAD. Nämä ovat tablettipohjaisia laitteita, joiden avulla työnjohto pystyy näkemään tietomallit, tarkastelemaan työkonien ottamia toteumapisteitä ja saamaan paremman kokonaiskuvan työmaasta ja työsaavutuksista.

(Novatron)

Novatronin koneohjaus on helppokäyttöinen ja suomenkieliset näytöt ja alavalikot helpottavat monesti käyttöä epäselvissä tilanteissa. Valikot ja alavalikot ovat yksinkertaisia käyttää ja niiden sijoittelu on järkevä. Järjestelmällä voi luoda mallille omia referenssilinjoja tarvittaessa, tämä ominaisuus on mahdollinen silloin, kun referenssilinja on suora. Esimerkiksi jos viettoviemäriin toteutusmallista puuttuu jostain syystä pätkä mallia, mutta viemäriin alku- ja loppupään korko on tiedossa ja viemäriin kaato pysyy koko ajan samana,

voi mallista puuttuvan pätkän ”mallintaa” itse luomalla mallista puuttuvalle osalle suoran referenssilinjan.

Toteumapisteiden ottaminen tapahtuu yhtä nappia painamalla, ja tallentuu sille pinnalle, jonka pintamalli on päällä toteuman ottamisen aikana. Toteumapisteet nimetään erikseen työmaalla sovitun tavan mukaisesti. Järjestelmä lataa kuljettajan ottamat toteumat pilvipalveluun FTP:llä aina kun kuljettava synkronoi FTP:n kautta uudet tai päivitettyt tietomallit koneeseensa. Järjestelmä on pääosin varmatoiminen ja huoltoa tarvittaessa saadaan se paikalle parhaimmillaan saman päivän aikana, yleensä viimeistään seuraavaksi päiväksi. Novatronin huoltomiehet on helppo saada puhelimella kiinni ja soittopyynnön saadessaan he soittavat takaisin.

Kauhojen kalibrointi on Novatronin laitteella yksinkertaista ja se on helppo oppia. Kalibrointiin tarvitaan vatupassi, luotilanka ja mittanauha. Kun kauha on kalibroitu järjestelmään, järjestelmä tallentaa sen muistiin ja kun kauha vaihdetaan toiseen ja takaisin, ei kalibrointia enää tarvitse samalle kauhalle tehdä.

Miinukset järjestelmän käytettävyyteen liittyvät pääosin työmaatukeen ja tilaajaan. Jos työmaatoimihenkilöillä tai tilaajan edustajalla ei ole kunnollista tietämystä tietomalleista ja muusta koneohjausjärjestelmien teknisistä ominaisuuksista, on hankala käyttää järjestelmää tehokkaasti ja oikein. Tämä on ongelmana yleensä vain pienissä hankkeissa, joissa ei ole mukana tietomalleista vastaavaa työnjohtajaa tai ketään muutaakaan, joka osaisi käyttää malleja ja laitteita.

Haastattelun aikana kaivinkoneessa oli käytössä Novatronin 3D-järjestelmän testiajoversio, jossa järjestelmä tunnisti myös kauhan pyörimyksen rototiltillä. Tämän kone oli ollut referenssityömailla kesästä 2017 lähtien ja sinä aikana järjestelmässä ollut muutamia järjestelmän kaatumisia.

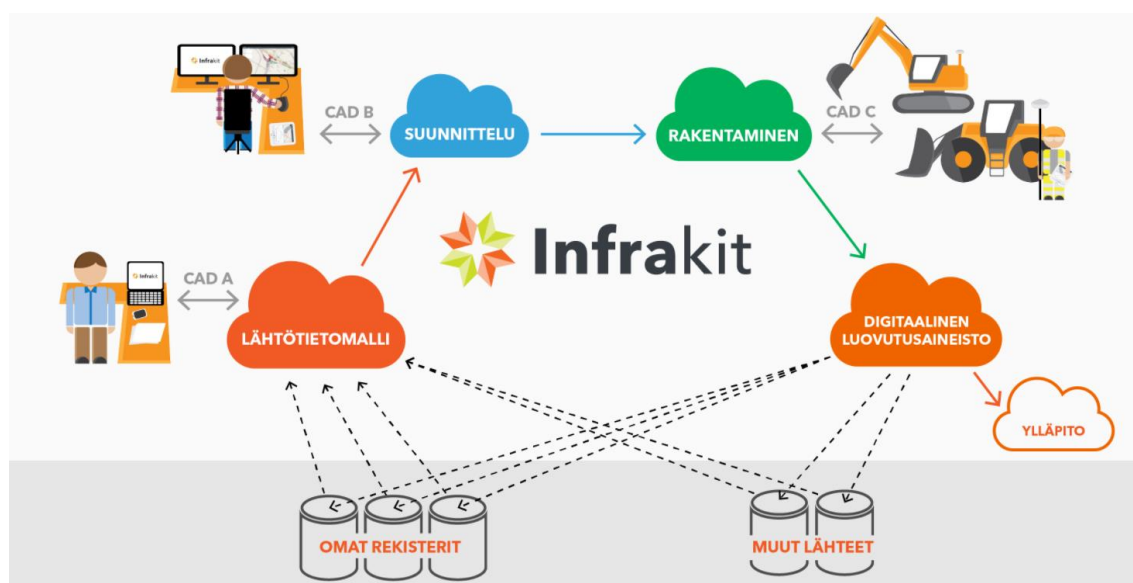
(Penttinen 2018)

Novatron eroaa muista eniten siten, että tiedonhallintaominaisuudet ovat kehittyneempiä. Yleensä järjestelmissä eri tiedostot nimetään ja ladataan järjestelmään, josta kuljettaja valikoi ne yksitellen aktiivisiksi koneensa näytöllä. Novatronissa kaikille pinnoille laiteaan oma InfraBIM-nimikkeistön mukainen koodaus ja kuljettajan tarvitsee koneessa vain etsiä järjestelmästä nimikkeistön mukaisella tunnuksella mallia, jolloin koko pintamalli

tulee suoraan näytölle. Tästä on apua suuremmilla työmailla, joissa on käytössä satoja malleja eri pinnoille ja paaluväleille (esim. pitkä tietyömaa). Kuljettajan hakiessa malleja pintatunnuksen mukaan, lataa Novatronin järjestelmä kerralla kaikki järjestelmään ladattut, tunnuksen mukaiset mallit koneeseen. Näin kuljettajan ei tarvitse tietää malleista mitään vaan esimerkiksi kaikki jakavan kerroksen mallit löytyvät kerralla koko työmaalle, eikä kuljettajan tarvitse tietää eri mallien nimiä, teiden nimiä tai paaluvälejä.

(Mulari 2018)

Pesäeroa muihin Novatron tekee myös Infrakit yhteensopivuutensa ansiosta. Infrakit on työmaiden käyttöön optimoitu pilvipalvelu, jonka avulla saa helposti siirrettyä tietoa rakentamisen eri osapuolille koko hankkeen rakennusprosessin ajan. Infrakitin idea on, että siellä on yhdessä paikassa kaikki tieto, joka hankkeesta on laadittu. Suunnittelijat voivat ladata Infrakitiin kaiken toimittamansa tietomallipohjaisen aineiston ja jakaa sen muille rakentamisen osapuolille. Työmaalla koneohjausta hoitava työnjohto voi ladata infrakitin kautta uudet mallit työkoneisiin ja työkoneiden ottamat toteumapisteen taas omalle tietokoneelleen tarkastelua ja toteumamallin luomista varten. (Infrakit)



Kuvio 15. Infrakitin toiminta työmaatoimintojen kanssa. (Infrakit.com)

Referenssityömailla ei ollut käytössä Infrakitiä, koska työmaatoimihenkilöiden ja GRK:n tietomallikoordinaattorin toimesta nähtiin, että Infrakitistä ei saatu niitä rakentamisen tukitoimintoja, joita työmaalla tarvittiin. Infrakit todettiin myös toiseen vaihtoehtoon nähden kalliiksi hyötyihin nähden. Infrakit ei ollut myöskään tilaajan (Liikenneviraston) jär-

jestelmien kanssa yhteensopiva. Ensimmäisellä referenssityömaalla testissä ollut Infrakitin versio oli pilotti, joten ohjelmistoa on luultavasti parannettu ohjelmiston referenssityömaalla testaamisen ja opinnäytetyön kirjoittamisen välillä. Referenssityömailla käytettiin Tekla Civilä Infrakitin asemesta.

Novatronin järjestelmissä on Infrakit-palveluun yhteensopivat käyttöliittymät, joten kaikki Novatronin koneohjauslaitteet toimivat yhdessä Infrakitin välityksellä. Tämä tarkoittaa sitä, että mallit tulevat koneen kuljettajille heti, kun ne ladataan Infrakitiin eikä niitä tarvitse erikseen päivittää pilvipalvelusta koneelle. Kun uusi malli ladataan Infrakit-palveluun tulee kuljettajan näytölle vain ilmoitus siitä, että uudet mallit on ladattu. Mallit ovat siis heti valmiit käytettäväksi työssä. Työkoneen ottamien toteumapisteiden lataaminen Infrakitiin toimii myös reaaliaikaisesti ilman eri latauksia, vaan toteumapiste latautuu automaattisesti Infrakitiin heti ottamisen jälkeen ilman eri toimenpiteitä.

(Mulari 2018)

Novatronilla on kehityksessä myös oma, infrakitin kaltainen järjestelmä, Xsite OFFICE, joka tablet-tietokoneella käytettävä ohjelmisto työmaatoimihenkilöille. OFFICE toimii pilvipalveluna ja sinne voi ladata kaiken työmaan tiedonsiirron. Laitteen avulla voi jakaa helposti suunnitelmat ja toteumat työnjohdon, koneiden, mittamiesten, suunnittelijoiden ja muiden asianomaisten kanssa, työkoneet lataavat uudet suunnitelmat omille koneilleen OFFICEN kautta. Järjestelmään ladattaville tiedostoille, malleille ja vaikka valokuville voidaan merkitä paikkatieto näyttämällä sille paikka karttapohjan päällä, tämä helpottaa tietojen tarkastelua jälkeenpäin. Laitteella voi nähdä myös työmaalla olevat työkoneet ja niiden paikat sekä työtehosta kertovat aktiviteettiraportit. Tällä järjestelmällä voi myös ottaa etäyhteyden työmaalla oleviin työkoneisiin ja lähettää niille pikaviestejä.

(Novatron)

Novatronin etätuki toimii hyvin tarvittaessa vaikka puhelimessa, koska etätuen on Novatronin järjestelmässä mahdollista saada omalle tietokoneelleen näkymä kuljettajan järjestelmän näytöltä. Näin etätuki voi puhelimen välityksellä antaa kuljettajalle toimintaohjeita samaan aikaan tietäen tarkalleen, mitä kuljettajan koneohjausjärjestelmässä tapahtuu ja auttamaan kuljettajaa saamaan esimerkiksi järjestelmän asetukset oikeiksi. Isommissa ongelmissa saadaan huoltomies nopeasti paikalle ja kuljettajan järjestelmä toimimaan.

Novatronin kehittämä inframodel 3 on uusi LandXML-pohjainen tietomalliformaatti, joka on tulossa nopeasti yleiseen tietämykseen ja käyttöön. Uuden formaatin etu on siinä, että se hakee tietomallin määreet suoraan yleisistä inframallivaatimuksista ja toteuttaa niitä mallinnuksen aikana. Näin inframodel 3 -tietomalliformaatti varmistaa alan vaatimusten toteutumisen. Inframodel 3 -mallien mallintaminen tapahtuu useimmin 3D-Win ohjelmistolla.

Novatronin järjestelmä tunnistaa useimmat tietomalliformaatit ja siihen ja Leican järjestelmään voi ladata samoja malleja. Järjestelmä tukee LandXML, DXF, GT, inframodel 3, pipenetworks, VGP ja IM stringline –formaatteja sekä Leican koneohjausjärjestelmien käyttämää GEO-tiedostoa. Järjestelmä osaa lukea piste-, viiva- ja mallitiedostoa. Leican GEO-tiedostojen kanssa Novatronin järjestelmillä on joskus ongelmia, koska Novatronin tuotetuki ei ylety niihin, tästä johtuen opastus ongelmatilanteessa saattaa olla hankalaa.

Novatroniin saa useita eri malleja päällekkäin. Malline päällekkäisyys auttaa saamaan paremman kokonaiskuvan rakenteesta, koska esimerkiksi tielinjan, rakennekerrosten ja varusteiden (tievalaistus, kunnallistekniikka) toteutusmallit saa näkymään näytössä samaan aikaan. Kansiorakenne on toteutettu alikansiorakenteena, joten yhden pääkansion alla (esim. kerrosrakenteet) on kaikki pääkansion rakennusosaan liittyvät rakenneosat (esim. jakava kerros). Kuljettajan lukiessa suoraan pääkansion, saa hän näytölleen kerralla kaikki pääkansion alaisuudessa olevat mallit, tai niin halutessaan hän voi lukea myös eri pintojen tai rakenteiden mallit yksitellen alikansiosta. Kuljettajan näytöllä liikutaan mallista toiseen nuolinäppäimillä mallien ollessa aktiivisina.

Novatronilla on myös työmaille jaettava, tietokoneelle asennettava ilmainen työpöytäsimulaattori, joka vastaa koneen kuljettajan näyttöä. Työpöytäsimulaattorilla esimerkiksi toimihenkilöiden on mahdollista saada parempi kokonaiskuva siitä, mitä työkonen kuljettaja näkee ja pystyy tekemään omalla laitteistollaan. Tällä ohjelmalla pyritään lisäämään työnjohdon keskuudessa tietämystä laitteistosta ja apua ymmärtämään paremmin laitteiston käyttöä. (Mulari 2018)

### 4.3 Trimble

Trimble on maailman suurimpiin kuuluva koneohjausjärjestelmien, rakennusautomaatiotekniikan, mittauslaitteiden ja näihin liittyvien ohjelmistojen kehittäjä ja valmistaja.

Yrityksellä on hallussaan yli 1200 patenttia ja sen tuotekehitykseen panostetaan vuosittain kymmeniä miljoonia dollareita. Trimble on perustettu vuonna 1978 Yhdysvaltain Piilaaksossa, tänä päivänä yrityksellä on toimipisteitä 35 maassa ympäri maailmaa ja sen liikevaihto vuonna 2016 oli 2,36 miljardia Yhdysvaltain dollaria. (Trimble)

Suomessa Trimblen koneohjausjärjestelmien maahantuonnista, myynnistä ja tukitoiminoista vastaa Wihuri konserniin kuuluva Sitech Oy, jonka toimipisteet sijaitsevat Vantaalla, Lempäälässä ja Oulussa. Sitech Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu Trimblen 2D- ja 3D-koneohjausjärjestelmät kaivinkoneisiin, puskukoneisiin, tiehöyliin, pyöräkuormaajiin ja muihin maanrakennuskoneisiin. Sitech Oy toimittaa myös Trimblen valmistamia maastonmittauslaitteita ja maanrakentamisen koneautomaatioon liittyviä ohjelmistoja. (Sitech Finland Oy)

Tähän opinnäytetyöhön on haastateltu Trimblen vuoden 2012 2D-järjestelmää käyttävä kaivinkoneen kuljettaja Jyrki Hietanen. Järjestelmä eroaa muiden opinnäytettä varten haastateltujen koneenkuljettajien koneohjauslaitteista jonkin verran ikänsä ja 3D-ominaisuuksien puuttumisen takia.

Trimblen järjestelmä yksinkertainen ja selkeä, siitä on ”turhat” hienoudet riisuttu pois. Näyttö on selkeä ja siinä näkyy vain tavoitetason viiva jota pitkin kaivetaan, muiden referenssityömaalla olevien kaivinkoneenkuljettajien käytössä olevat 3D-järjestelmät hankalampia hahmottaa. Kosketusnäyttö lisäisi käyttömukavuutta ja muun muassa toteumapisteiden nimeämisen helppoutta, käytössä on kuusi vuotta vanha järjestelmä, jossa toteumapisteiden nimeäminen tapahtuu nuolinäppäimillä kirjaimia valikoiden. Toteumapisteiden mittaaminen tapahtuu yhtä nappia painamalla ja toteuma tallentuu oletusarvoisesti siihen pintaan, jonka malli on toteuman mittaamisen aikana aktiivisena. Toteumapisteet koodataan järjestelmään työmaalla ennalta sovitulla numeroinnilla, joten sen saa myös koodaamalla merkittyä myös eri pinnalle kuin aktiivisena olevalle.

Trimblen järjestelmä on luotettava ja varmatoiminen, jos satelliittivastaanottimien signaali on jostain syystä heikko, ei järjestelmä näytä kuljettajan näytöllä mitään, jotta vääränkorkoista linjaa ei huonon satelliittipaikannuksen takia pääse tekemään. Signaaliongelmia ilmenee yleensä kostealla ilmalla ja maastoesteiden, kuten rakennusten tai korkeiden metsien läheisyydessä, koska työkoneen järjestelmä ei saa kunnollista yhteyttä tuki-

asemaan tai Trimnetiin. Huutomäen referenssityömaalla Trimblen järjestelmä ei ollut yhteydessä työmaan tukiasemaan, vaan se haki korjausviestin Trimnetistä. Vt 4 Äänekosken kohdalla – referenssityömaalla järjestelmä haki korjausviestin työmaalla olevasta tukiasemasta, eroa koron korjausviestin hakemisesta tukiasemalta tai Trimnetistä ei työmaiden aikana havaittu. Tarkkuustaso Trimnetin kautta ehkä jopa tarkempi, kuin tukiaseman kautta. Järjestelmän hakiessa korjausviestin tukiasemalta etuna on se, että järjestelmä pysyy aina samassa korossa kuin muutkin työmaalla olevat koneet ja niiden koneohjausjärjestelmät.

Järjestelmän osat ovat varmatoimisia ja komponenttien toimintavarmuuteen on kiinnitetty huomiota jo tuotekehitysvaiheessa, muun muassa kaikki ulkotiloissa olevat anturit puomissa ja muualla koneessa ovat lämmitettyjä jäätymistä johtuvien vikojen eliminointiseksi. Vuoden 2012 järjestelmä alkaa olemaan vanhahtava, mutta ajaa silti asiansa ja sen avulla pystyy toteuttamaan samat työvaiheet samalla tarkkuudella kuin muillakin, uudemmilla järjestelmillä. Käyttöominaisuudet uusien mallien lataamisen ja otettujen toteutuspisteiden lähettämisen suhteen ovat samanlaiset kuin muidenkin valmistajien laitteissa. Mallien vaihtaminen kuljettajan näytöllä tapahtuu nuolinäppäimin järjestelmän kansiorakenteesta hakemalla. Myös Trimblen järjestelmä mahdollistaa omien referenssi-viivojen luomisen tiedettyjen pisteiden välille mallin ollessa vajavainen.

Trimblen järjestelmään ei saa asetettua kahta eri pintamallia samaan aikaan aktiiviseksi, joten esimerkiksi viemäriputken kaivaminen mallin mukaan muuttuu vaikeammin hahmotettavaksi, koska samaan aikaan kuljettajan näytöllä ei saa näkymään putkikanaalin ja ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmallia. Trimblen järjestelmä ei myöskään osaa lukea pistetiedostoja, joten esimerkiksi tievalaistuksen lampunjalkojen paikat täytyy mallintaa merkitä rastilla tai pienellä neliöllä. Tielinjaa kaivaessa kuljettaja joutuu myös usein vaihtelevaan tielinjan pintamallin (esim. kantavan kerroksen mallin) ja tievalaistusten mallien kesken saadakseen kunnollisen kokonaiskuvan tielinjasta ja valmiista rakenteesta.

Trimblen järjestelmän kanssa huolto toimii hyvin. Neuvoja saa usein puhelimesta ja isompien ongelmien sekä laiterikkojen osuessa kohdalle huoltomiehen saa työmaalle yleensä parin päivän kuluessa.

Referenssityömaiden ja opinnäytetyön kirjoittamisen aikana haastatellulla kuljettajalla käytössä ollut Trimblen järjestelmä on tuottanut kerran ongelmia, koska Trimblen oma pilvipalvelu oli kaatuneena vuoden 2018 alussa yli viikon ajan. Trimblen malleja ei voi ladata työkoneeseen FTP:n kautta, kuten Novatroniin ja Leicaan, vaan ne ladataan Trimblen oman pilvipalvelun kautta. Tämän pilvipalvelun serveri oli tammikuussa 2018 kaatuneena yli viikon, ja tänä aikana uusien mallien lataaminen työkoneeseen onnistui pelkästään muistitikulla fyysisesti lataamalla mallit ensin koneohjauskoordinaattorin toimesta tikulle ja viemällä tikku sitten työkoneeseen, jossa se liitettiin koneohjausjärjestelmään ja ladattiin uudet mallit järjestelmään. Outoa viassa oli se, että työkoneen koneohjausjärjestelmä pystyi siirtämään ottamansa toteumapisteet pilvipalveluun normaalisti, mutta mallien lataaminen työkoneeseen ei onnistunut. Serverivian syytä ei ollut vielä opinnäytteen kirjoittamisen aikana löydetty. (Hietanen 2018)

Trimblen järjestelmä tuottaa ylimääräistä työtä myös työmaiden koneohjauskoordinaattoreille sekä mallintajille. Trimblen järjestelmä ei tue samoja tiedostomuotoja kuin Novatronin ja Leican järjestelmät, joten esimerkiksi muihin järjestelmiin sopivat LandXML-formaatissa olevat mallit täytyy muuttaa Trimbleen sopiviksi Trimblen omalla ohjelmistolla. Tästä johtuen mallien päivitykseen kaikille työmaan koneille menee helposti puoli-kin tuntia, kun siihen pelkillä Leican ja Novatronin järjestelmillä menisi viisi minuuttia.

Trimblen tuotekehitys on hyvää ja yritys panostaakin tutkimukseen ja kehitykseen kymmeniä miljoonia dollareita joka vuosi. Myös tuotekehityksessä on otettu huomioon koneeseen ladattavien tietomallien formaattiongelmien muiden valmistajien laitteiden yhteensopivuuden kanssa. Trimblen järjestelmään soveltuvat mallit muunnetaan muiden valmistajien laitteiden kanssa yhteensopiviksi Trimblen omalla Businesscenter-ohjelmalla.

Kehitteillä on myös uusi FileFlipper-ohjelmisto, jonka avulla Trimbleen sopivien mallien formaatit saa muunnettua muun muassa Novatroniin ja Leicaan sopiviksi ja Novatroniin ja Leicaan sopivat mallit saadaan taas muutettua Trimbleen sopiviksi. Mallien lataaminen järjestelmiin tapahtuu Trimble Connect-ohjelman kautta etälataamisena samalla tavalla kuin muissakin järjestelmissä. Trimblen tukema malliformaatti on omansa ja muiden järjestelmien kanssa yhteensopimaton sen takia, että Trimblen formaatti on juuri koneohjausmalleille luotu ja optimoitu.

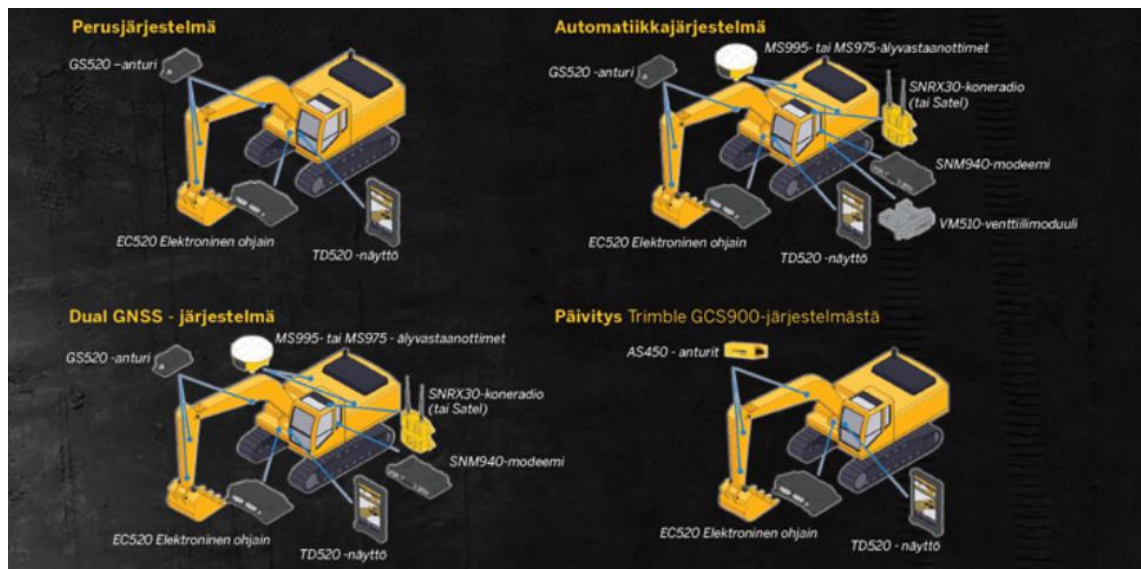


Näin ollen mallit ovat ”kevyitä” järjestelmille, mutta silti mittatarkkoja. Trimblen järjestelmien suunnittelussa ja valmistamisessa mittatarkkuuteen kiinnitetään paljon huomiota. Trimblen järjestelmällä otettuja toteumapisteitä ei voi jälkeenpäin muokata, joten järjestelmää ei voi huijata. (Paitsola 2018)

Trimble on vuonna 2017 Maxpo-messuilla lanseerannut aivan uudenlaisen Earthwork -koneohjauslaitteiston, joka toimii saman tyyppisellä Android käyttöjärjestelmällä, kuin puhelimet. Uusittuun järjestelmään on laitettu täysin uudenlaiset komponentit ja päivitetty käyttöjärjestelmä. Earthwork on kehitetty nimenomaan työkoneen kuljettajien tarpeita vastaavaksi ja helppokäyttöiseksi. Kaikki toiminnot ovat parin napin painalluksen takana ja kuljettajan ruutuun on mahdollista saada järjestelmän sisäisiä avustuksia laitteen käyttöön liittyen. Uusi järjestelmä tukee kaikkia tietomalleissa käytettäviä tiedostomuotoja, joten se poistaa mallien tiedostojen muuntelun ja helpottaa myös tietomallikoordinaattorin työtä. Uudessa järjestelmässä toteumapisteet otetaan kaivinkoneen ohjainsäuvassa kiinni olevalla napilla, eikä kuljettajan näytön kautta kuten aikaisemmissa versioissa. (Paitsola 2018)

Earthwork-järjestelmään on myös mahdollista asentaa kaivinkoneen puomiston automaatiikka. Tämä käytännössä tarkoittaa sitä, että koneohjauslaitteisto on yhteydessä kaivinkoneen puomien hydraulikkaan ja haluttaessa käyttää pääpuomia automaattisesti. Automatisoidussa puomissa kuljettaja laittaa kauhan esimerkiksi luiskan toteutusmallin mukaiselle tasolle, aloittaa kauhan vedon ja painaa samalla puomiston automatiikan napista päälle. Tällöin järjestelmä vetää kauhan automaattisesti mallia pitkin takaisin toteutusmallia pitkin. Puomiston automatiikka ohjaa siis kauhan asentoa ja kaivuupuomia itsenäisesti kuljettajan ohjatessa vain kaivupuomia.

(Paitsola 2018)



Kuvio 16. Trimblen eri koneohjausjärjestelmät. (Sitech Oy)

## **5 KONEOHJAUKSEN YLEISET HAASTEET JA NIIDEN HUOMIOON OTTAMINEN TYÖMAALLA**

Koneohjausmaailmaan siirtyminen maanrakennuksessa on työnteon, työmaiden edistymisen ja kustannustehokkuuden kannalta hyvä asia. Koneohjaukseen siirtymisen jälkeen konevoiman optimointi, työmaiden aikataulutus ja monet muut työtekniset ja laadulliset asiat ovat parantuneet, mutta tietomallipohjainen rakentaminen on tuonut mukanaan myös monia haasteita, joiden selvittämiseen käytetään työmailla edelleen paljon aikaa ja työtä. Työmaalla korostuu kommunikaation tärkeys ja se, että koneenkuljettajat, työnjohto, mittamiehet ja tietomallikoordinaattorit puhuvat ”samaa kieltä” ja kaikilla on riittävä tietämys koneohjauksesta sekä laitteiden ja järjestelmien toiminnasta.

Osa mittausyrityksistä tekee ja tarjoaa työmaille myös mallintamispalveluita. Tässä työtavassa on hyvää se, että työmaan mittamiehet tietävät tietomallipohjaisen työmaan periaatteet ja osaa toimia tietomallien kanssa. Tällainen järjestely työmaalla helpottaa huomattavasti esimerkiksi tarkekuvien ja toteumamallien muodostamista työmaan luovutuksen tullessa ajankohtaiseksi. Vastuu tietomalleista voisi olla mittamiehillä eikä työnjohdolla. (Björkqvist 2018)

### **5.1 Koneohjauksen käyttöön liittyvät haasteet**

Vielä tänä päivänä suurimpia ongelmia koneohjauksen tehokkaalle käytölle työmaalla on toimihenkilöiden ja koneenkuljettajien osaamattomuus ja kommunikaatio-ongelmat. Usein työmaalla on vain yksi tai ei yhtään toimihenkilöä, joilla on riittävä tietämys koneohjauksen käytöstä, tukiasemasta tai malleista. Työnjohdon täytyy usein tarkastella työkoneesta ladattuja toteumapisteitä tai mallintajalta tulleita malleja virheiden varalta ja tämä on mahdotonta, jos työmaalla kukaan ei osaa käyttää mallien tarkasteluun tarvittavia tietokoneohjelmia. Ongelmaksi voi myös muodostua se, että vaikka työnjohdolla olisikin riittävä osaaminen mallien ja toteumien tarkastamiseen, puuttuu siltä tarvittavat ohjelmat ja työkalut siihen. Tarkastaminen vaatii myös aikaa, joka työmaaolosuhteissa on usein vähäistä ja tällöin tarkastaminen jää taka-alalle. Jos selviää, että rakenteen toteumapisteet ovat jääneet koneen kuljettajalta ottamatta, joutuu mittamies mittaamaan rakenteesta tarketiedot, tai koneen pitää ajaa uudestaan samaan paikkaan mittaamaan tarvittavat toteumatiedot. Toteumien mittaamisessa on oltava myös tarkkana, jotta ne tulevat otetuksi

oikeasta paikasta. Koneenkuljettaja saattaa kiireessä ottaa pisteet väärästä rakenteen kohdasta. Väärästä paikasta mitattu toteumatieto on hyödytön ja se joudutaan mittaamaan uudestaan. Näiden syiden takia työmaalla täytyisi olla joku, jolla on riittävä osaaminen, työkalut ja aikaa mitattujen toteumien tarkasteluun. Tämä säästäisi turhalta työltä.

(Heikkala 2018)

Koneohjausta käytettäessä ja työmaata perustettaessa saatetaan helposti kuvitella, että mittamiehellä on tietomallipohjaisella työmaalla vähemmän työtä kuin perinteisellä työmaalla. On totta että tarkkeiden mittaamista ei ole niin paljon juuri koneiden toteumapistteiden mittaamisen takia, mutta mittamiehellä on koneohjauksen parissa paljon työkoneiden ja tukiaseman korkojen mittaamista ja tarkistamista. Myös rakennettaessa tien kerrosrakenteita koneohjauksella on hyvä käydä muutaman sadan metrin välein mittaamassa takymetritarke rakenteesta, jotta voidaan varmistua rakenteen oikeellisuudesta. Mittamiehellä on yleensä myös tietomalline ja toteumapistteiden tarkasteluun tarvittavat työkalut ja osaaminen. (Lönnberg 2018)

Toteumamittausten toimimattomuuteen voidaan koittaa useita eri tapoja. Esimerkiksi toteutusmalliin voidaan mallinnusvaiheessa merkitä paikat, joista toteumapistteet kuuluu mitata. Jokaisella työmaalla on kehitettävä omat, toimivat työkalut toteumien mittaamisen muistamiseksi. Eräällä Graniittirakennus Kallion työmaalla tilaaja suostui toteumapistteiden mittaamiseen jyrällä. Koneohjauksella varustettu valssijyrä ottaa automaattisesti toteumapistteitä koko jyräpyörän leveydeltä aina jyrätessään, joten toteumapistteet tulevat väkisin otetuksi, niitä on paljon ja toteumat on mitattu jyrätyltä kerrosrakenteelta. Kaivinkoneella toteumia mitatessa kerros jyrätään vielä tiiviiksi, joten pisteiden todellinen paikka tulee muuttumaan jyräyksen aiheuttaman tiivistymisen verran.

(Lönnberg 2018)

Toteutusmalleja laaditaan työmaan etenemisen mukaisesti. Työnjohdolla on oltava selkeä työn aikataulutussuunnitelma paria viikkoa aikaisemmin työvaiheen aloitusta, jotta työhön tarvittavat toteutusmallit saadaan tilattua ajoissa ja ne ovat työmaalla työvaiheen alkaessa. Työmaatilanteen muuttuessa äkillisesti mallitarpeita ei ole päivitetty riittävän nopeasti, eivätkä työhön tarvittavat tietomallit ole valmiita. Kommunikaatio työmaalla on tärkeässä osassa, jotta virheistä voidaan ottaa opiksi. Kentältä täytyy tulla tietoa toimistolle ja toisinpäin. Menetelmiä ja työtapoja pitäisi muuttaa avoimempaan suuntaan, jotta

kaikki työmaan toimihenkilöstö pysyy työmaatilanteen tasalla ja työ sujuu keskeytyksettä. Referenssityömaalla Huutomäessä tapahtuneet vähäiset kommunikaatiokatkoksista johtuneet virheet eivät toistuneet enää Vt 4 Äänekosken kohdalla -työmaalla, joten nämä ongelmat saatiin insinööriyön kirjoittamisen aikana ratkaistua säännöllisillä palavereilla ja toimihenkilöstön oppiessa uudet, toimivammat toimintamallit. (Heikkala. 2018)

Koulutus koneohjauslaitteiden käyttöön ja tietomallipohjaisen työmaan toimintaan on tärkeää, mutta sitä pitäisi olla enemmän. Työkoneen kuljettajat, aliurakoitsijat ja työmaan toimihenkilöt sekä muut laitteiden kanssa toimivat pitäisi kouluttaa kunnolla laitteiden ja järjestelmien käyttöön. Koulutusta pitäisi vaatia ja tiedonhalun pitäisi tulla henkilöiltä itseltään. Maanrakennusala on niin konservatiivista, että kuljettajia ja toimihenkilöitä ei välttämättä edes kiinnosta oppia koneohjausasioita vaan se nähdään vaivalloisena lisänä, joka ei ole tärkeää. Asioita jää tekemättä myös unohdusten takia. Esimerkiksi kymmeniä vuosia konetta ajanut kaivinkoneen kuljettaja ei muista mitata toteumia tien rakenteesta, koska hän ei ole koskaan ennen koneohjauslaitteita joutunut niitä itse ottamaan. Tällaisestakin toiminnasta päästäneen eroon tulevaisuudessa vanhojen ja enemmän muutosvastaraintaisten rakentajien eläköityessä ja koneohjauslaitteiden tullessa enemmän osaksi kaikkea maanrakentamista. (Heikkala 2018)

## **5.2 Laitteisiin liittyvät haasteet**

Laitteiden komponentteihin liittyy ongelmia ja haasteita lähinnä niiden kestävyys suhteen. Riittävällä pakkasella anturit alkavat näyttää epävarmaa tietoa tai lakkaavat kokonaan toimimasta. Sama voi tapahtua myös erittäin kuumana päivänä, kun esimerkiksi kaivinkoneen puomissa olevaan mustaan anturiin paistaa koko päivän aurinko, alkaa anturi reistailemaan ja näyttämään virheellistä tietoa. Uusimmalla sensortechnikalla päästään -40–100 asteen käyttölämpötiloihin, mutta maanrakennusyrittäjien kalusto uusiutuu hitaasti ja vanhoja, huonommin ääriolosuhteita kestäviä laitteita ja komponentteja on vielä paljon työmailla. (Tanhuanpää 2018)

Työmaan tukiaseman kanssa on välillä säätilasta johtuvia ongelmia. Sään ollessa sumuinen, epäselvä tai huono saattaa tukiaseman lähettämän korjausviestin tarkkuus kärsiä ja näinollen työkoneen koneohjauslaite on väärässä tai epätarkassa korossa ja paikassa. Tukiasematarkkuus voi johtua laajalla työmaalla myös siitä, että koneiden ja tukiaseman

järjestelmien antennit eivät ole kunnolla yhteydessä toisiinsa pitkän välimatkan tai maastoesteiden takia. Tämä aiheuttaa paikannusyhteyden pätkimistä ja koneohjauslaitteen epätarkkuutta. Ongelmat ovat ratkaistavissa useammilla, sopivin välimatkoin sijoitetuilla tukiasemilla tai tehokkaammilla antenneilla. Laitevalmistajat kehittävät koko ajan uusia ja tehokkaampia tuotteita, joten ongelma luultavasti tulee ratkeamaan tulevaisuudessa. (Heikkala 2018)

Anturit ovat herkkiä kolhuille ja osuman saadessaan anturin suojaosasta menee herkästi tiiviste rikki. Tiivisteiden rikkoutuessa anturin sisään pääsee vettä. Anturiin päässyt vesi saattaa sekoittaa hetkeksi koko anturin toiminnan ja tehdä järjestelmästä epäluotettavan. Työkoneen kuljettajalta vaaditaan tarkkuutta ja huomiokykyä tilanteessa, jossa on mahdollista että komponentin kastuminen aiheuttaa järjestelmän reistailua.

Tällaisilta ongelmilta voidaan luultavasti tulevaisuudessa välttyä, koska teknologia menee vauhdilla eteenpäin ja myös koneohjauslaitteiden komponenttien säänkestävyyteen ja toimintavarmuuteen panostetaan koko ajan ja niitä pyritään parantamaan.

### **5.3 Koneohjausmalleihin liittyvät haasteet**

Toleranssit aiheuttavat ongelmia toteutusmallien formaateille ja tarkkuudelle. Esimerkiksi koneohjauksella varustetuilla asfalttilevittimillä valmiin pinnan toleranssit ovat niin tiukat, että kolmioverkkopohjaisissa mallityypeissä mallin tarkkuus ei riitä parhaan mahdollisen pinnan saamiseksi. Kolmioverkkopohjainen mallityyppi ei ole optimaalinen myöskään automatisoituihin koneisiin, kuten tiehöyliin ja robottiautomatiikalla varustettuihin puskukoneisiin. Näissä koneissa pitäisi pyrkiä käyttämään tarkempia mallityyppejä, kuten täyden geometrian tielinjamalleja. Suomessa paneudutaan liikaa kolmioverkkomalleihin ja ne ovatkin hyvin usein ainoita käytössä olevia malleja. (Tanhuanpää 2018)

Kolmioverkkomallien epätarkkuus johtuu siitä, että kun malli kolmioidaan ja kolmioverkko muodostetaan, muodostuu se tunnettujen pisteiden välille. Tunnetuilla pisteillä on todettu korko, mutta kaikki kolmioverkolle päätyvä korkotieto, joka on tunnettujen pis-

teiden välissä, on tunnettujen pisteiden korkotietojen mukaisesti interpoloitua tietoa. Interpoloitu tieto ei ole absoluuttista tietoa, joten näin ollen se ei välttämättä pidä ollenkaan paikkaansa. (Tanhuanpää 2018)

Kaikki suunnittelutoimistot ja mallintajat eivät ole vielä ottaneet YIV2015 käyttöön, joten mallien tasalaatuisuudessa saattaa olla eroja mallin tekijästä riippuen. Jotkin suunnittelijat ajattelevat vanhakantaisesti tielinjan paalupoikkileikkauksia 20 metrin välein, vaikka selkeämpi tapa on tehdä malli suoraan koko tielinjan yhdestä rakenneosasta ja päivittää sitä tarpeen tullen. Näin varmistutaan ettei mallissa ole epäjatkuvuuskohtia, eikä mallia tarvitse vaihtaa aina 20 metrin välein. Kaikkien mallien taiteviivojen ja korkotasojen tulee olla yhteensopivia ja osua toisiinsa ilman rakoja. (Heikkala 2018)

Mallien tarkastaminen työmaalla on tärkeää. Tarkastuksessa havaitaan mahdolliset epäjatkuvuuskohdat ja virheet. Tarkastuksen yhteydessä tarkistetaan mallin korkojärjestelmä, kolmioverkon säännönmukaisuus ja muun muassa mallin oikea nimeäminen. Mallien nimeäminen tai numerokoodaus on tärkeää, jotta kuljettajat löytävät laitteeltaan helposti tarvitsemansa mallit.

## **6 KONEOHJAUKSEN YLEISET HAASTEET JA NIIDEN VÄLTÄMINEN SUUNNITTELUSSA**

Malliaineistoa tehtäessä ei ole merkitystä minkä merkkiseen koneohjauslaitteeseen mallia tehdään. Malliformaatit vaihtelevat koneohjauslaitteet merkistä riippuen, mutta formaatti muutetaan vasta mallintamisen jälkeen. Suurimmat haasteet mallintamiseen muodostuvat lähtötietojen heikosta laadusta. (Lönnberg 2018)

### **6.1 Mallintamiseen liittyvät haasteet**

Mallintamisessa tilaajalta saadaan yleensä lähtöaineisto, jonka pohjalta malleja aletaan mallintamaan. KU-urakoissa, tilaajasta riippuen lähtötiedot voivat olla haastavia, koska tilaajalla ei ole käsitystä mallin tekemiseen tarvittavista lähtötiedoista tai tarvittavat lähtötiedot ovat esimerkiksi excell-taulukossa, josta niitä on työlästä kerätä mallin laatimisen avuksi. ST-urakoissa urakoitsija on itse valinnut suunnittelijan, joten niissä useimmiten on helpompaa saada suunnittelijalta tarvittava lähtötieto mallintamisen tarpeisiin. Nykyään useilla tilaajilla, muun muassa referenssityömaiden tilaajalla Liikennevirastolla on usein jo hyvät lähtötiedot järkevässä ja helposti hyödynnettävässä muodossa. Lähtötieto-ongelmat esiintyvät yleensä pienillä ja kokemattomilla tilaajilla, joilla ei ole kunnollista käsitystä siitä, mitä lähtötietoaineiston tulisi pitää sisällään. Mallintamismaailma myöskin elää koko ajan, jotain tulee lisää ja jotain jää pois. Muutokset ja niiden rutiininomais-taminen vaatii aikaa, eikä suuria harppauksia kannata edes koittaa tehdä. (Lönnberg 2018)

Mallit kannattaa pitää mahdollisimman yksinkertaisena. Taustakartoilla tai muilla vastaa-villa voidaan tehdä toteutusmalleista hienon näköisiä, mutta hyötyä työn tekemiselle niistä ei juuri ole. Esimerkiksi kuivatusrakenteesta kannattaa työmaan alkuvaiheessa mal-lintaa pelkkä vesijuoksu, joten maaperätiedon tai muun muuttuessa ja varmistuessa koko mallia ei tarvitse muuttaa. Myös mallien määrässä kannattaa olla tarkkana. Jos työmaalla on paljon malleja, joista osa turhia työn tekemisen kannalta, kannattaa turhat ja ylimää-räiset mallit poistaa tietokannasta. Näin vältetään mahdollisuudelta, että työkoneen kul-jettajalla on tekemästään rakenteesta väärä malli koneessaan ja näinollen rakenteesta tulee vääränlainen. (Lönnberg 2018)



Yleiset inframallivaatimukset ovat helpottaneet lähtötietoaineiston kanssa. Lähtötietoaineistot kun riippuvat tekijästä ja ennen YIV2015 julkaisemista mallintamiselle ja lähtötiedoille ei ole ollut kunnollista ohjetta. Lähtötietojen kerääminen kaipaisi jonkinlaista standardia, jolla varmistettaisiin kaikkien tilaajien lähtötietojen samankaltaisuus ja se, että lähtötiedot sisältävät kaiken mallintamiseen tarvittavan tiedon. Mallintaminen, kuten muukin koneohjausmaailma on edelleen lapsen kengissä, joten myös lähtötieto-ongelma tulee ajan kanssa muuttumaan järkevämpään ja samankaltaisempaan muotoon.

(Lönnberg 2018)

## 7 POHDINTA

Koneohjaukseen käyttöön ja tietomallipohjaiseen rakentamiseen liittyy monia haasteita ja kasvukipuja, jotka tulevat poistumaan tulevaisuudessa. Työtapojen parantaminen, järjestelmien käytön opettelu ja sen vahvuuksien tunnistaminen näyttelevät suurta osaa niin nykypäivän kuin tulevaisuudenkin infrarakennustyömailla. Laitteet kehittyvät koko ajan paremmiksi, automaattisemmiksi ja älykkäämmiksi, samalla kun niiden kanssa töitä tekevät työkoneen kuljettajat ja työmaan toimihenkilöt oppivat käyttämään niitä tehokkaammin ja omaksuvat uusia työtapoja, joilla virheiltä vältytään.

Laitevalmistajat panostavat tuotekehitykseen paljon ja järjestelmien käytettävyys sekä ominaisuudet paranevat koko ajan. Tuotekehityksessä huomioidaan laajasti myös laitteiden käyttäminen ja siitä pyritään saamaan koko ajan helpompaa. Omalta osaltaan tämäkin helpottaa järjestelmien tehokasta käyttöä ja muutosvastarinnan vähenemistä. Laitteet ovat keskenään hyvin samankaltaisia ja niiden toiminta on samanlaista. Kaikissa on puolensa, eikä yhtä ainoaa voi nostaa esille parhaana tai helpoimpana. Koneohjauslaitteet tulevat tulevaisuudessa myös yhä enemmän toimimaan osittain tai täysin automaattisesti, jolloin kuljettajan rooli työkoneen käytössä pienenee.

Yhtenä suurimmista ongelmista koneohjauksen käytössä on edelleen muutosvastarinta ja osaamattomuus sekä haluttomuus oppia. On paljon ”ei ole ennenkään tarvittu” –mentaliiteettia, joka syö mahdollisuuksia tehokkaalta käytöltä ja lisää usein turhaa työtä toimistolla muun muassa toteumien tarkastelun muodossa. Voisi kuvitella, että kallis satsaus 3D-laitteeseen innostaisi myös opettelemaan sen käyttöä ja monien kuljettajien kohdalla näin onkin. Oppimishaluttomat ja muutosvastarintaiset kuljettajat tulevat väistymään urakointimaailmasta, koska työmaille ei kohta enää ole asiaa, jos laitteen käyttö ei onnistu.

Opinnäytetyöhön haastatellut ihmiset kertoivat kokemuksistaan, laitteistaan ja niiden käytettävyydestä totuudenmukaisesti ja omakohtaisia kokemuksia mukaillen. Täytyy kuitenkin muistaa, että haastatellut laitevalmistajien edustajat ovat kukin töissä omalla työnantajallaan, tässä tapauksessa laitevalmistajalla, joten kritiikki omaa tuotetta kohtaan ei välttämättä aina ole kaikista puolueettominta. Haastatellut, koneohjausta käyttävät kaihinkoneenkuljettajat kertovat kokemuksistaan rehellisesti, mutta ehkä vailla omakohtaisia kokemuksia muista laitteista, joten vertailu muiden valmistajien laitteisiin ei onnistu.

Koneohjauslaitteet, kuten työkoneet, autot ja vaikkapa jääkiekkjoukkueet ovat kuljettajien tai yrittäjien itsensä valitsemia ja niihin on muodostunut usein jonkinlainen ”tunneside”, joten kynnys antaa kritiikkiä omasta laitteesta on iso.

Tietomallipohjaisen työmaan toiminnassa korostuu vuorovaikutus kentältä toimistolle ja päinvastoin, jotta järjestelmistä saadaan paras teho irti ilman ylimääräistä työtä missään vaiheessa toimintaketjua: tarvitaan keskustelua. Pitää myös muistaa, että tietomallipohjainen rakentaminen lisää ketjun joidenkin lenkkien työtä, mutta vähentää toisaalla, tässä täytyy löytää työmaalla se kultainen keskitie, jotta yhteenlaskettu työmäärä vähenee verrattuna perinteiseen rakentamiseen, vaikka jonkun henkilökohtainen työmäärä kasvaisikin.

Ongelmat osataan työmaalla jo yleensä tunnistaa ajoissa ja niihin pystytään reagoimaan. Tietomallipohjainen työmaa toimii paremmin kuin perinteinen ja on myös kustannustehokkaampi. Työmaan luovutus tapahtuu digitaalista luovutusaineistoa käyttäen ja laadunosoitus tehdään työmaan toteumamallilla. Kaikki tämä on helppoa ja yksinkertaista, kun työmenetelmät ovat oikeat ja rakentamisen jokainen lenkki toimii oikein. Työnjohto tarvitsee tarvittavat välineet rakentamisen seuraamiseksi ja valvomiseksi koneohjausta käytettäessä.

Tulevaisuudessa, kun esimerkiksi tässä insinööriyössä esitetyt ongelmat on voitettu, on koneohjauksen käyttö nykyistäkin tehokkaampaa ja toimivampaa. Asennemuutokset, sukupolvenvaihdos rakennuslalla ja tietomallipohjaisen rakentamisen vaatiminen tilaajan puolelta tulevaisuudessa tulevat auttamaan asiaa. Haasteistaan huolimatta koneohjaus parantaa infrarakentamisen laatua, kustannustehokkuutta, nopeuttaa aikatauluja sekä mahdollistaa tarkemman massatalouden suunnittelun. 3D-malleista valmis rakenne on helppo visualisoida luovutukseen tai yleisölle.

## LÄHTEET

Arola, A. Niemi, P. Pienimäki, M. Liikennevirasto. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 66/2015. Kokemukset tietomallien hyödyntämisestä teiden ylläpidon suunnittelussa ja hankinnassa. Luettu 29.1.2018. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/Its\\_2015-66\\_kokemukset\\_tietomallien\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/Its_2015-66_kokemukset_tietomallien_web.pdf)

Björkqvist, A. Työnjohtaja, Graniittirakennus Kallio Oy. Haastattelut 19.10.2017 ja 28.2.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T. Äänekoski

Buildingsmart Finland, kaupunkimallinnuksen ohjekirja. n.d. Luettu 27.1.2018. <https://buildingsmart.fi/kaupunki/kaupunkimallinnuksen-ohjekirja/>

Buildingsmart Finland. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Luettu 16.1.2018. <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>

Graniittirakennus Kallio Oy. 2015. yritys. Luettu 16.10.2017. <http://grk.fi/yritys/>

Heikkala, J. Koneohjausexpertti, Graniittirakennus Kallio Oy. Haastattelut 19.10.2017 ja 28.2.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T. Äänekoski

Hietanen, J. Kaivinkoneenkuljettaja, Trimblen koneohjaus, Jämsän Metalli ja kuljetus. Haastattelu 23.1.2018. Äänekoski.

Infrakit Oy. Lue lisää. n.d. Luettu 10.2.2018. <https://infrakit.zendesk.com/hc/fi/articles/115005744849-Infrakit-infrahanketietojen-reaaliaikainen-havainnollistaminen>

Jaakkola, M. Destia Oy. Yleiset inframallivaatimukset, osa 12. n.d. Luettu 28.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_Osa12.1\\_Maarakentamisen\\_mallipohjainen\\_laadunvarmistusmen-tem%20C3%A4.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2017/07/YIV2015_Mallinnusohjeet_Osa12.1_Maarakentamisen_mallipohjainen_laadunvarmistusmen-tem%20C3%A4.pdf)

Janhunen, N. Pienimäki, M. Finnmap Infra. Parantala, S. Ramboll Finland Oy. Yleiset inframallivaatimukset, osa 4. n.d. Luettu 16.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA4\\_Mallinnus\\_hankkeen\\_eri\\_vaiheissa\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankkeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf)

Laukkanen, J. 12.1.2017. Kuinka koneohjaus auttaa maanrakennuksen käytännön töissä? Koneviesti 1/2017. Luettu 18.10.2017. <http://www.koneviesti.fi/artikkelit/kuinka-koneohjaus-auttaa-maarakennuksen-k%C3%A4yt%C3%A4nn%C3%B6t%C3%B6iss%C3%A4-1.174489>

Leica-geosystems Oy. Tietoa meistä. Leica Geosystems Oy. n.d. Luettu 10.1.2018. [http://www.leica-geosystems.fi/fi/Leica-Geosystems-Oy\\_89938.htm](http://www.leica-geosystems.fi/fi/Leica-Geosystems-Oy_89938.htm)

Liukas, J. Virtanen, J. Sito Oy. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 3. n.d. Luettu 16.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA3\\_Lahtotiedot\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf)

Lönnberg, K. Koneohjauskoordinaattori, Graniittirakennus Kallio Oy. Puhelinhaastattelu 2.3.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T.

Mulari, K. Tietomalliasiantuntija, Novatron Oy. Puhelinhaastattelu 26.1.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T.

Mäkinen, E. Tieaho, I. Parkkari, J. Yleiset inframallivaatimukset, osa 8. n.d. Luettu 28.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2015/02/YIV-2015\\_OSA\\_8\\_Inframallin-laadunvarmistus\\_20160211.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2015/02/YIV-2015_OSA_8_Inframallin-laadunvarmistus_20160211.pdf)

Mäki-Tulokas, J. Topgeo Oy. Mitä koneohjaus on? n.d. Luettu 18.10.2017. <http://www.topgeo.fi/tuotteet/koneohjausjarjestelmat-ja-konevastaanottimet/mita-koneohjaus-on>

Määttänen, M. 3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75178/Maattanen\\_Matti-jaakko.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/75178/Maattanen_Matti-jaakko.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Luettu 16.1.2018

Niskanen, J. WSP-Finland Oy. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 1. n.d. Luettu 16.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA1\\_Tietomallipohjainen\\_hanke\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf)

Noll, C E. Nasa. Global Navigation Satellite System Overview. n.d. Luettu 18.10.2017. [https://cddis.nasa.gov/Techniques/GNSS/GNSS\\_Overview.html](https://cddis.nasa.gov/Techniques/GNSS/GNSS_Overview.html)

Novatron Oy. 2015. Mitä on koneohjaus. Luettu 18.10.2017. <http://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>

Novatron Oy. Yritys. Koneohjaus. n.d. Luettu 10.2.2018. <http://novatron.fi/>

Paitsola, J. Osastopäällikkö, koneohjaus ja infra-alan teknologia. Wihuri Oy. Puhelinhaastattelu 23.1.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T.

Palviainen, S. Destia Oy. Yleiset inframallivaatimukset, osa 5.3. n.d. Luettu 28.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA5\\_3\\_Maarakennustoiden\\_toteumamallin\\_laadintaohje\\_V\\_0\\_9.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_3_Maarakennustoiden_toteumamallin_laadintaohje_V_0_9.pdf)

Penttinen, L. Kaivinkoneen kuljettaja, Novatronin koneohjaus, J-M Kinnunen Oy. Haastattelu. 23.1.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T. Äänekoski

Salmela, C. Kaivinkoneen kuljettaja, Leican koneohjaus, Maanrakennus Salmela Oy. Haastattelu 10.1.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T. Äänekoski

Sitech Finland Oy. Koneohjaus ja infra-alan teknologia. n.d. Luettu 11.2.2018. <https://www.tekninenkauppa.fi/tuoteryhmat/koneohjaus-ja-infra-alan-teknologia/koneohjausratkaisut/koneohjausratkaisut>

Snellman, S. Destia Oy. Yleiset inframallivaatimukset, osa 5.2. n.d. Luettu 27.1.2018. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA5\\_2\\_Vaylarakenteen\\_toteutusmallin\\_laatimisohje\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_2_Vaylarakenteen_toteutusmallin_laatimisohje_V_1_0.pdf)

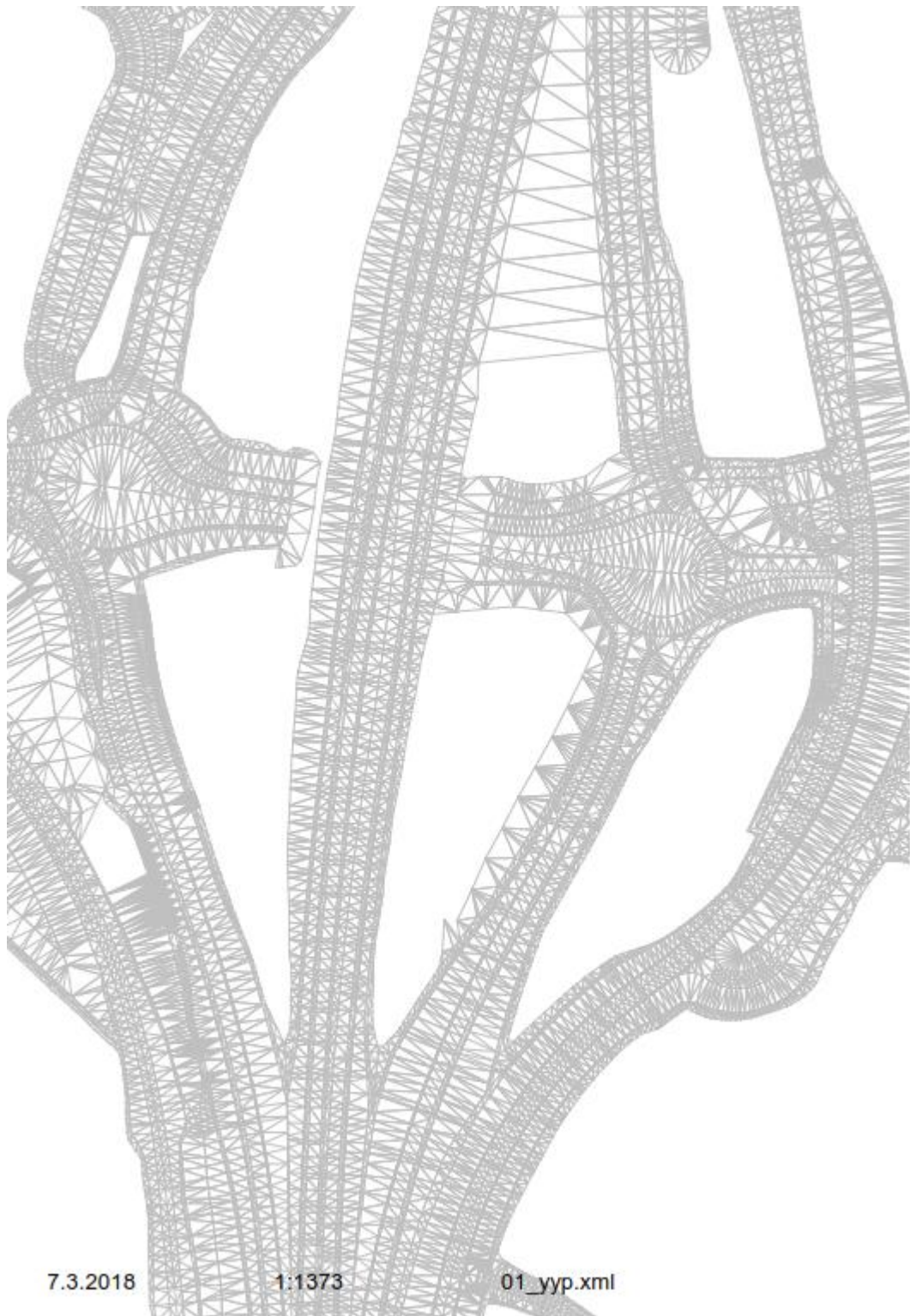
Tanhuanpää, V-M. Maajohtaja. Leica-Geosystems Oy. Videohaastattelu 20.2.2018. Haastattelija Uusi-Kouvo, T.

Tanhuanpää, V-M. Scanlaser Oy. Welcome to the world of machine control-powerpoint –esitys. 2012. Luettu 24.2.2018. <http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/6.-Tanhuanp%C3%A4%C3%A4-3D-koneohjauksen-hy%C3%B6dynt%C3%A4minen-paalutusty%C3%B6maalla.pdf>

Trimble inc. 2018. About. Luettu 11.2.2018. <http://www.trimble.com/>

**LIITTEET**

Liite 1. Esimerkki referenssityömaa Huutomäen ylimmän yhdistelmäpinnan toteutusmal-  
lista.





Liite 2. Esimerkki referenssityömaa Huutomäen jakavan kerroksen toteutumamallista.

